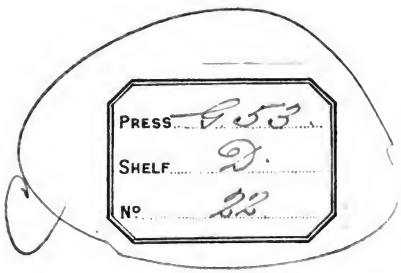
600054894-



1882 e. 11.

Digitized by Google

Das

Wachsen der Steine

oder

die Kräfte,

welche die Bildung und Entwicklung der Gebirgsarten vermitteln.

Allgemein fasslich dargestellt

von

R. Ludwig.

G. 53. D. 22.

Nebst 8 Tafeln Zeichnungen.

Darmstadt, 1853.

Verlag der Hofbuchhandlung von *G. Jonghaus.*

Vorrede.

Wenn der *Bau der Felsmassen*, welche die Erdrinde zusammensetzen — wie es schon vielfältig erwiesen — nach ganz bestimmten Regeln geordnet ist; wenn die Schichtenstellung der aus dem Wasser abgesetzten Gesteine abhängig ist von gewissen Einwirkungen der aus dem Innern der Erde herausgetretenen Stoffe: so muss durch möglichst vielseitige Beobachtung die Auffindung der Grundgesetze gelingen, welche den innern Bau der Gesteine, den Flusslauf, die Vertheilung der Meeresbecken, die Form und Erhabenheit der Continente bestimmen.

Diese Anordnung der Gebirgsstücke bedingt die Lebensweise der Menschen, welche mit allen ihren Kräften an die Erde gefesselt, ihre Thätigkeit, ihren Gewerbsbetrieb nach der Beschaffenheit ihres Wohnortes einzurichten genöthigt sind.

Wenn *die Stoffzusammensetzung der Felsmassen*, abhängig von ihrer Entstehungsweise und den Einflüssen der im Laufe der Zeit auf sie wirkenden Umgebungen, die Art der Pflanzen bestimmt, sohin Thiere und Menschen in der wesentlichsten

Digitized by Google

Bedingung ihres Lebens berührt; wenn an eine gewisse Mischung der Gesteine, das Auftreten der vom Menschengeschlechte begehrten nützlichen Erze und andern Mineralien gebunden ist: so ist es eine Aufgabe für die Wissenschaft die Zahl der in dieser Richtung anzustellenden Beobachtungen so zu vermehren, dass daraus das Gesetz der Stoffvertheilung ermittelt werden kann, damit der Landbau und die Gewerbe zur vollständigsten Benutzung der in der Erde niedergelegten Schätze gelangen.

Wenn die Physiognomie der Landschaft abhängig ist von dem innern Bau und der stofflichen Mischung der Felsmassen — und diese Abhängigkeit besteht in hohem Grade —; wenn das Gemüthsleben der Menschen, ihre Kunstrichtung, ihr Kultus in einem nahen Verhältnisse steht zu der von ihnen bewohnten Gegend: so ist es auch hier wieder am Orte den Zusammenhang des Stoffes und des Geistes zu erforschen.

Kein einzelner Mensch kann, und lebte er noch so lange, das eben bezeichnete Gebiet nach allen Richtungen durchschreiten; hier müssen Viele Hand anlegen.

Digitized by Google

Wie die Diatomee, vereinzelt kaum sichtbar, in Gemeinschaft mit Billionen ihres Gleichen ganze Ländergebiete aus der allgemeinen Wasserbedeckung gehoben hat, so müssen die wissenschaftlich geleiteten Beobachtungen und Forschungen Vieler, ineinandergreifend, den Fels der Wahrheit aufbauend unsere Ansichten über das Wesen und Gefüge der Erde aus den Wogen der Hypothese ans klare Licht des sichern Wissens bringen.

Je eher viele Menschen mit der genauen Erforschung der Schichten- und Stoffverhältnisse der Erde vorangehen, desto eher wird die menschliche Gesellschaft in den vollen Besitz aller Schätze der gemeinsamen Mutter kommen. Die Metall- und Brennstoffniederlagen, die Thon-, Marmor-, Baustein-, Salzlager, die Heilquellen, selbst der frischsprudelnde Trinkquell wird leichter gefunden, wenn dem Suchenden die Kenntniss der anordnenden Gesetzmässigkeit helfend zur Seite steht.

Die Gabe der Beobachtung ist jedem Menschen reichlich zugetheilt, denn jedermann richtet sein Leben ein nach den Frfahrungen, welche er auf dem Wege der Beobachtung gesammelt hat. Die Gelegenheit zu geologischen Beobach-

Digitized by Google

tungen bietet jede Gegend der Erde in reichlichem Maasse, denn überall liegen den vorhandenen Erscheinungen gewisse zu erforschende Verhältnisse zu Grunde, überall sind Kräfte an der Umwandlung der vorhandenen Gesteinen oder Erden thätig und es ist in der Regel der still und ohne Aufsehen wirkende Entwickelungsprozess von bedeutenderen Folgen als der laute sein Auftreten geräuschvoll verkündende.

Ich möchte nun durch dieses Schriftchen zum Studium der Geologie anregen und dadurch auch andere des Glückes theilhaftig machen, welches ich geniesse, indem ich die Räthsel der Natur zu lösen suche.

Die Natur bietet den Maasstab zu allem Zweckmässigen, Schönen und Erhabenen; ihre Betrachtung beruhigt und erhebt, sie erfrischt und erregt ohne jemals zu übersättigen oder zu ermüden. Sie die rein aus Gottes Hand entsprungen ist für den, der ihre Bedeutung zu verstehen strebt, ein reinerer Lobgesang unseres Schöpfers als der ist, welcher aus der durch Leidenschaften getrübten Seele der Menschen hervorgeht.

Hanheim im Juli 1853.

R. Ludwig.

Digitized by Google

Inhalts-Verzeichniß.

Einleitung.

Seite.

Bau der Erdrinde 1
Verschiedenheit der stofflichen Zusammensetzung der Gebirgsarten 1
Aufsteigungsgesteine (Eruptionsgesteine) 2
Abgelagerte Gesteine (Sedimente) 3
Absatz- und Niederschlagsgesteine 5
Metamorphosirte Gesteine 6
Die Art und Aeusserung der an die Atome der Stoffe gebundenen Kräfte war von jeher die gleiche 8
Gesteinbildende Kräfte 9

1. Die Wärme.

Die Wärme bewirkt Ausdehnung der Körper . . . 11
und strebt sohin der Schwerkraft entgegen . . . 12
Fremde und eigene Wärme der Erde 13
Vertheilung der Erdwärme 14
Meeresströmung durch Erdwärme 15
Treibholz 15
Irrblöcke 15
Sonnenwärme 16
Eindringen derselben in die Erde 17
Einfluss derselben auf Seen und Meer 19
Antheil derselben an den Strömungen des Meeres . . 20
Eigene Wärme der Erde 21

Digitized by Google

Seite.

Wärmezunahme nach dem Innern der Erde 21
Beobachtungen derselben in artesischen Brunnen . . . 22
geben kein allgemein gültiges Gesetz füs die Wärmezunahme 23
Berechnete Tiefe, in welcher der Basalt flüssig ist . . 24
Erddichtigkeit 25
Eindringen des Wassers in die Erde 25
Erhitzung des Wassess durch die Erdwärme . . . 26
Der Siedepunkt des Wassers abhängig vom auflastenden Drucke 26
Curven gleicher Wärmegrade in der Erdrinde . . . 29
Das durch Spalten in die Erde eingedrungene Wasses wird an geeiggeten Stellen in Dampf verwandelt und veranlasst Explosionen, Erdbeben, Vulkane, Salsen und Thermen . 29

A. Erdbeben. 30

Arten der bei Erdbeben vorkommenden Erschütterungen . 30
Verbreitungskreise der Erdbeben 31
Erdbeben von Lissabon 31
Durch Erdbeben erschütterte Kugelausschnitte (Erschütterungskegel und Kreise) 32
Erdbeben eine allgemeine gewöhnliche Erscheinung . . 32
Hebungen und Senkungen 33
Gesteinszertrümmerung 33
Schlammeruptionen mit Erdbeben verbunden, Gesteinsbildung 33
Ueberschwemmungen durch Erdbeben 34
Zerstörungen „ „ 35
Erdbeben als Vorläufer vulkanischer Erscheinungen . . 36

B. Vulkane. 36

Die jetzt thätigen Vulkane sind nach der sogenannten Tertiärzeit entstanden 37
Die Basalte, Melaphyre, Pyroxen- und Labradorgesteine sind ältere vulkanische Gebilde 37

Digitized by Google

Seite.

a) Auftreten der Vulkane unter Wasserbedeckung.

(Submarine Vulkane.) 38

Ausbruch im Mittelmeer, das ephemere Eiland Ferdinandea 39

Wasserdämpfe, Schlackenwürfe 41

Kraterkegel 42

Schlackengarbe 43

Vulkanisches Gewitter 44

Ferdinandea verschwand wieder im Meere 45

Die Insel Santorino im griechischen Archipel . . . 46

Felserhebungen im Busen von Santorino 47

Aschenauswürfe daselbst 48

b) Vulkane auf dem festen Lande. 49

Vulkan von Jorullo 50

Aufblähung des Bodens. 52

Schlackenauswürfe, Aschenkegel 53

Vulkanisches Getöse 54

Die Asche und Bomben werden gebildet, indem Gase die flüssige Lava durchströmen 55

Die hohe Spannung der vulkanischen Gase verursacht die vulkanischen Ausschleuderungen 56

Vulkanische Regen 57

Zusammensetzung der vulkanischen Gase 57

Die vulkanischen Gase entstehen aus der Zersetzung des Meerwassers durch Kieselerde oder saure Silikate . . 59

Desgleichen 81

Lava 60

Lavaströme 61

Hitzegrade der Lava 62

Erkalten derselben 62

Bodensenkungen in der Nähe der Vulkane 63

Digitized by Google

Seite.

Das Gesetz der Anordnung der Vulkane auf der Erdoberfläche 63
Anzahl der noch thätigen Vulkane 64
Ende der vulkanischen Thätigkeit 65
Ueberschwemmungen durch vulkan. Ausbrüche hervorgebracht 66

c) Salsen (Schlammvulkane) Geiser, Thermen. . 66

Entstehung der Salsen 67
Suffioni, Fumarolen, Solfatarren 68
Gypsbildung in Fumarolen 69
Krystallbildung als hebende Kraft 70
Schwefelkies 70
Schwefel 70
Geiser 71
Geiserrohre 72
Kieselsinter 72
Bunsen's Erklärung der periodischen Geiser . . . 73
Ende der Geiserthätigkeit 75
Thermen 76
Soolsprudel von Nauheim 76
Sein Uebersprudeln ist die Folge der Kohlensäure-exhalationen 77
Periodische Thermalquellen zu Nauheim 79
Reihenfolge der vulkanischen Gase 80
Zersetzung der Laven durch vulkanische Gase und Entstehung von Mineralquellen 82
Metamorphose der Sedimente durch Einwirkung der im Meerwasser enthaltenen Alkalien 83
Stetige Hebung ganzer Landstrecken ist die Folge dieses Umwandlungsprozesses 83
Metamorphose der Eruptionsgesteine durch vulkan. Gase . 84
Bildung von Thon und Kiesel 84

Digitized by Google

Seite.

Vulkanische Bildung von Schwefelmetallen 85
„ „ „ Gyps 85
Gesteinzersetzung durch Kohlensäure 86
Ursprung der Kohlensäure 87
Kreislauf des Kohlen- und Sauerstoffes 88

2. Das Wasser.

Dreifacher Körperzustand des Wassers 91
Wasserdampf zerstört Gesteine 92
Kreislauf des Wassers 93
Wirkungen des tropfbarflüssigen Wassers 93

A. Wirkungen des bewegten Wassers. 93
Regen benagt die Felsen 94
„ bewirkt den Absatz von Lehm, Thon, Sand u. s. w. auf Rasenboden 95
Gesteinstransport durch Wasser 96
Das Wasser fliesst an der Oberfläche und in den Spalten der Gesteine 97
Das unterirdisch fliessende Wasser erzeugt Erdfälle, Höhlen, Bergstürze 98
Das an der Oberfläche fortrinnende dagegen Thäler (Erosionsthäler) 99
Entstehung der Wasserfälle (Katarakte) 99
Die vom Wasser fortgespülten Gerölle werden nach ihrer Schwere sortirt 100
Menge des im Rheinwasser transportirten Schlammes . . 100
Deltabildungen an den Mündungen der Ströme . . . 101
Lagerung der Sedimente in den Deltas 102
Geröldämme durch Fluth des Meeres bewirkt . . . 103
Lagunen 103
Salzlagerbildung in denselben 103

Digitized by Google

Seite.

Geröllbildung durch Ebbe und Fluth 104
Dünen 105
Den Küsten nahe entstehen die mächtigsten Sediment-
ablagerungen 106
Das Eis nimmt Antheil an der Umgestaltung der Erde . 106
Felszerbröcklung durch Eis 107
Firn 107
Gletscher 107
Eismeere der Alpen 108
Moräne 109
Gletschertische 109
Gletscherschliffe 110
Zertrümmerung der Felsen durch die Bewegung der Gletscher 110
Gesteinstransport auf schwimmendem Eise 111

B. Das Wasser als Auflösungsmittel. 111

Auflösung der Gesteine durch Wasser 112
Salzgehalt der Gewässer 113
Erdengehalt derselben 114
Menge der dem Meere in Auflösung zugeführten Erden . 115
Salzgehalt der Meere 116
Derselbe ist bei abgeschlossenen Seen abhängig von der
Wasserzuführung durch Flüsse. 116
Der Salzgehalt des Oceans ist nicht überall gleich . . 117
Analysen von Meerwasser 118
Salzgehalt verschiedener Theile des Oceans . . . 119
Der Salzgehalt des Oceans ist wahrscheinlich zu allen Zeiten
gleich gewesen 120
Zuführung von Salz durch die Ströme 121
Ausscheidung von Salz aus dem Meere 122
Kreislauf des Salzigen auf Erden 122
Löslichkeit der Kieselerde u. s. w. 123

Digitized by Google

Seite.

Löslichkeitsverhältniss der Gesteinsbestandtheile . . . 125
Das Wasser vermittelt den Austausch der Stoffe in der Erde 127
G. Bischoff's Untersuchungen über den Salzgehalt der Quellen 127
Kohlensäure entströmt dem Erdinnern 127
Das Wasser der Quellen tritt aus der Atmosphäre in die Erde 128
Die kohlensauren Alkalisalze der Quellen sind aus den Eruptionsgesteinen entnommen 128
Die kohlensauren Erdensalze aus Eruptions- und Sedimentgesteinen 128
Die Chlorverbindungen entstehen in beiden Arten der Gesteine 128
Die Fluorverbindungen stammen aus dem Glimmer . . 128
Die schwefelsauren Alkalien gehören zu den primitiven Erzeugnissen der Eruptionsgesteine 128
Die schwefelsauren Kalk- und Bittererdesalze sind secundärer Entstehung 129
Die schwefelsauren Baryt- und Strontiansalze desgl. . . 129
Schweflige Säure und Schwefelwasserstoff sind Erzeugnisse vulkanischer Thätigkeit 129
In Solfataren können schwefelsaure Salze entstehen . . 130
Die verwitternden Kiese sind aber ebenfalls Veranlassung zur Bildung solcher Salze 130
Schwefelmetalle entstehen aus der Einwirkung von Schwefelwasserstoff auf Metalloxyde oder indem schwefelsaure Metallsalze reduzirt werden 130
Die Kieselerde ist zumeist als Silikat mit Alkalien Erden oder Eisenoxyd verbunden im Wasser vorhanden . . 130
Die Phosphorsäure ist an Kalk gebunden primärer und secundärer Entstehung 130
Die im Wasser gelösten Stoffe scheiden sich nach einer bestimmten Reihenfolge ab 132

Digitized by Google

Seite.

Das Wasser übernimmt in der festen Erdrinde die Rolle des Saftes in den Pflanzen oder des Blutes in den Thieren . 133
Durch Auswaschungen werden Senkungen ganzer Schichten verursacht 133
Brekzienbildung im Gefolge dieser Auswaschungen . . 134
Metamorphose der Gesteine unter Mithülfe des Wassers . 134
Mit Stoffzunahme verbundene Metamorphose der Gesteine als hebende Kraft für Gebirgsschichten 136
Krystallinische Gesteine aus Sedimenten entstanden . . 138
Glimmer, Granat, Epidot und Zeolithe 139
Umwandlung der Feldspathgesteine 140
Entstehung abwechselnder Lager krystallinischer Gesteine . 141
Dolomit 142
Drusenausfüllung 142
Gangspaltenausfüllung 143
Zersetzung des Basaltes beginnt mit Ausziehung des Kalkes und der Alkalien durch Kohlensäure 143
Die ersten Absätze in Drusen und Spalten des Basaltes sind Kalkspath und Opal 143
Ihnen folgen Absätze von Sphärosiderit 143
Dann Zeolith als Niederschlag aus Wasser 144
Quarz ist ein Absatz aus Wasser 145
Die Gangausfüllungen werden aus dem Nebengesteine entnommen 146

3. Die Atmosphäre. 147

Oxydirende Wirkung desselben 147
Sauerstoff ein Hauptbestandtheil der Gesteine . . . 149
Kreislauf des Sauerstoffs auf Erden 149
Ammoniak 150
Salpeterbildung 150

Digitized by Google

Seite.

Die Atmosphäre vermittelt den Kreislauf des Wassers . . 151
Gesteinsablagerungen durch Winde bewirkt 152

4. Pflanzen und Thiere. 153

Pflanzen und Thiere nehmen mineralische Stoffe in ihren Bau auf 153
Chemische Wirkung der Pflanzen auf Gesteine . . . 154
Auflösung der Kieselerde durch verwesende Pflanzen unterstützt 154
Bildung von Schwefelkies durch faulende Pflanzen . . 154
Unterschied zwischen Fäulniss und Verwesung . . . 156
Fäulnissprodukte der Holzfaser, Schema zur Ableitung des Torfes, der Braun- und Steinkohlen und des Graphites aus Holzfaser 157
Gasentwicklung in Kohlenlagern 158
Entstehung der Torflager 158
Treibholz in Flussdeltas begraben 161
Alle Sedimente umschliessen Pflanzenreste 161
Reduzirende Wirkung der Pflanzen 162
Asphalt und Erdöl 163
Die reduzirende Wirkung der Pflanzen bewirkt den Kreislauf des Sauerstoffs 164
Schichten aus Thierresten gebildet 165
Foraminiferen 165
Korallen 167
Koralleninseln entstehen auf sich senkendem Meeresboden . 168
In kälteren Meeren leben keine Riffkorallen 169
Strahlthiere 171
Austernbänke 171
Muschelbänke in Felsmassen 172
Die im Meere lebenden Thiere entziehen dem Meerwasser Stoffe 173

Digitized by Google

Seite.

Kalkniederschlag in Austernschaalen 174
Zusammensetzung von festen Theilen einiger Meeresbewohner 175
Die Thiere zerlegen den Gyps und das Chlorkalzium des Meerwassers und verwandeln sie in kohlensauren Kalk . 176
Die Weichthiere scheiden den Kalk vermittelst bestimmter Organe ab 178
Wachsen der Korallenstöcke 178
Die Pflanzen scheiden kohlensauren Kalk aus dem Wasser indem sie zweifach kohlensaure Salze in einfach kohlensaure verwandeln 179
Kalktuffbildung auf Moosen von Ahlersbach . . . 181
Desgleichen vom Hausberge bei Butzbach 182
„ auf Diatomeen und Conferven zu Nauheim . 183
„ als Erbsenstein 183
Die in der Nauheimer Salzsoole wachsenden Pflanzen scheiden ausser Kalk auch Kieselerde, Magnesia und Eisenoxyd ab 185
Kalksteinlager über Pflanzen gebildet zu Groskarben . . 186
„ im Tertiärkalke des Mainzer Beckens . . 186
„ an andern Punkten 187
Die Grösse der durch Pflanzen vermittelten Kalksteinabsätze 188
Antheil der Pflanzen an der Kieselerdeablagerung . . 190
Schnelle Vermehrung der Diatomeen 190
Kieselguhr 192
Diatomeen als Ursache der Trockenlegung der baltischen Ebene 193
Die gesellschaftlich wachsenden Moose, Gräser und Haiden tragen indem sie als Filter auf trübe Wasser wirken zur Ablagerung von Gebirgslagern bei 193
Lehmlager über Grasboden gebildet 194
Der Löss ist nur selten durch Flüsse und Seen angeschwemmt und kann desshalb nicht als Pegel zur Beurtheilung des früheren Wasserstandes dienen 196

Digitized by Google

Seite.

5. Elektrizität 198

Blitze schmelzen die Oberfläche der Felsen . . . 198

Sie bilden aus Stickstoff und Sauerstoff Salpetersäure . . 198

Zerlegung der Mineralien durch Elektrizität . . . 199

Krystallbildung durch dieselbe 200

Kupferabsatz in Vitriollauge 201

Krystallbildung in alten Grubenräumen 202

M. Becquerel's Methode der Mineralbildung durch Elektrizität 202

Die elektrische Wirkung ist in Uebereinstimmung mit den chemischen Proportionen 205

Die Körperform ist abhängig von der Stärke des elektrischen Stromes 206

Der elektrische Strom bewegt die Körperatome durch weite Räume 207

Die Elektrizität als Ordnerin der Erzgangausfüllungen . 208

Erzgänge von Bieber 208

Die Gangausfüllung ist gleichzeitig entstanden . . . 209

Die Metalle als die elektropostitivsten Stoffe sind dabei am reichlichsten abgeschieden 210

Bildungen auf ausgehauenen Strecken der Bieberer Erzgänge 212

Kongsberger Silbererzgänge 212

Sie sind zu vergleichen mit galvanoplastischen Apparaten . 213

Erzspiegel 214

Die abwechselnden Schichten der Erdrinde setzen gewissermaassen eine voltaische elektrische Säule zusammen . 215

Wo die Schichten aufgerichtet sind ist die elektrische Strömung durch Oxydation und Säurewirkung energischer . 215

Dolomit 216

Körniger Kalk 216

Gneus 217

Digitized by Google

	Seite.
Feldsteinporphyr	217
Gypsbänke	218
Quarzfels	218
Elektrische Vorgänge in Drusen	219
Kalkspathbildung durch elektrische Strömung . . .	220
Bergkrystallbildung	223
Quarzgänge	224
Pseudomorphose	225
Krystallbildung im Innern der Gesteine	226

Digitized by Google

Einleitung.

Das Erdsphäroid ist, soweit wir in dessen Rinde eingedrungen sind, gebildet aus wechselnd an- und übereinander liegenden Schichten verschiedener Stoffe. Eine etwas genauere Betrachtung dieser Schichten der sogenannten Gebirgsarten lässt uns die Wahrnehmung machen, dass sie sowohl in stofflicher Zusammensetzung, als in Beziehung auf ihren inneren Bau und ihre gegenseitigen Verhältnisse verschieden sind.

Die eine Art jener Schichten zeichnet sich aus durch ihre chemische Zusammensetzung. Sie bestehn aus kieselsauren Verbindungen, namentlich Labrador, Oligoklas, Orthoklas und andern Feldspatharten, ferner Augit, Hornblende, Olivin, denen allerlei Zersetzungsproducte, wie Magneteisen, Quarz, Glimmer, Kalkspath, Zeolithe u. s. w. eingemengt sind. Diese Gesteine besitzen die weitere Eigenthümlichkeit, dass sie häufig als Spaltenausfüllung, Gesteinsgänge, vorkom-

Digitized by Google

men, dass sie Bergkegel bilden, welche aus den Tiefen der Erde hervorgebrochen die darüber liegenden Schichten gehoben und in ihrer ursprünglichen Lagerung gestört haben. Sie sind an andern Stellen aus Spalten hervorgetreten, haben überfliessend sich an der Oberfläche der Erde ausgedehnt wie die Lavaströme der noch thätigen Vulkane.

Diese erste Art der Gesteine nennen wir *Aufsteigungsgesteine*, Eruptionsgesteine, vulkanische und plutonische Gebirgsmassen. Da sie aus dem Erdinnern kommen, so können wir sie ansehen als die ursprünglichen Massen des Erdballs, als das „primitive Gestein."

Keins dieser Gesteine umschliesst organische Wesen-Reste oder Petrefacten; weil bei ihrer Bildung noch keine Organismen die Erde bevölkerten und in den Tiefen, aus denen sie später entsprangen, weder lebende Geschöpfe noch Pflanzen existiren. — Einige sind durch den Einfluss chemischer Kräfte umgewandelt, wobei entweder die Zusammensetzung der ganzen Masse durch Ausscheidung wesentlich verändert ist, oder nur die Elemente sich in anderer als der ursprünglichen Weise angeordnet haben. In den letzteren Gesteinen sind die Elementarstoffe in denselben relativen Verhältnissen vorhanden, als in den unveränderten, aber die näheren Bestandtheile, d. h. die Mineralien, welche an ihrer Zusammensetzung Theil nehmen, sind wesentlich verschieden von den ursprünglich gebildeten.

Digitized by Google

Die meisten Aufsteigungsgesteine sind in Säulen oder Kugeln, oder unregelmässig geformte Theilstücke abgesondert, seltener sind plattenförmig abgetheilte.

Die zweite Hauptabtheilung der Gebirgsarten ist offenbar hervorgegangen aus der Zerstörung eines schon Vorhandenen. Sie sind *abgelagert* unter Beihülfe von Flüssigkeiten, indem Bruchstücke oder chemisch umgewandelte Bestandtheile einer ältern Gebirgsart in einer Flüssigkeit schwebend allmählig zu Boden sanken; und öfters unter Einfluss des Lebensprocesses der Pflanzen und Thiere, welche ihre Formen als Petrefacte zurückgelassen haben.

Da die meisten dieser Gebirgsartenreihe die deutlichste Schichtung zeigen, wie sie der Absatz aus Wasser annimmt, da sie zahllose Wasserthierreste umhüllen; so bezeichnet sie die Geognosie als *Absatz-* oder *Niederschlags-Gesteine*, Sedimentgesteine, neptunische Gesteine.

Sie sind durchbrochen, aus ihrer ehemaligen Stelle verrückt, gebogen, gefaltet, durch Eruptionsgesteine, welche sie durchschneiden, wie der Einschlag des Leinens den Zettel kreuzt. An andern Stellen aber wechsellagern sie auch mit als Lavaströme übergeflossenen Eruptionsgesteinen, so dass vielfältige Beziehungen zwischen diesen beiden Arten der Bildungsstücke der rigiden Erdrinde stattfinden.

Die Sedimentgesteine zeigen keine so grosse Uebereinstimmung ihrer chemischen Zusammensetzung, als die

Digitized by Google

Eruptionsgesteine; sie, die aus dem Auseinanderfallen, der Zersetzung und Verwesung hervorgegangenen, sind in ihrer stofflichen Zusammensetzung wesentlich verschieden, je nachdem zermalmende oder auflösende Kräfte, oder beide vereint an ihrer Bildung Theil nahmen.

Die nur mit Hülfe der mechanischen Kräfte entstandenen sind einfach Haufwerke von Bruchstücken der Eruptions- oder primitiven Gesteine, wie die vulkanischen Aschenhaufwerke, vulkanische Conglomerate, sogenannte Tuffe, oder Grus und Schutt aufs neue zerbrochener Absatzgesteine.

Wenn neben zerbrechenden Gewalten auch noch der Einfluss chemischer die Stoffzusammensetzung lösender Kräfte an der Zerstörung der primitiven Massen thätig ist; wenn auf diese Weise ein Zerfallen der ursprünglichen Verbindungen in ihre Theile stattfand; wenn einzelne Substanzen in Wasser und Säuren aufgelöst entfernt werden, andere als Rückstand überbleibend sich ablagern, so entstehen Massen, in denen Kiesel-, Thonerde und Eisenoxyde vorherrschen: Lehm, Thon, Sand, Grand, Schieferthon, Thonschiefer, Sandstein und Conglomerate.

Aus den in Wasser und Säuren gelösten Theilen der verwesenden Eruptionsgesteine scheiden sich aus durch Verdunstung, häufiger aber durch den Lebensprozess von Pflanzen und Thieren, Kalk- und Magnesiakarbonat, Kieselerde, Eisen- und Manganoxyde,

Digitized by Google

Kohle, ferner Gyps und Steinsalz. Während wir die erste Art der Sedimentgesteine *Absatzgesteine* nennen, können wir die andere als *Niederschlagsgesteine* bezeichnen.

Diese beiden chemisch in hohem Grade abweichenden Gebilde wechsellagern in weitester Berührung und mannigfachster Uebereinanderfolge. Thonschiefer, Kohle, Sandstein, Kalk, Schieferthon, Sandstein, Thon, Gyps, Steinsalz, Kalk u. s. w. folgen vielfältig auf einander, wenn wir von den ältesten Formationen aufwärts steigend die Sedimente bis zur neusten Epoche durchmustern. Dieser Wechsel chemisch verschiedener Gesteinsplatten muss, wie der Wechsel der verschiedenen Metallplatten der galvanischen Säule, electrische Strömungen hervorrufen, welche, wie ich vermuthe, an dem Magnetismus und der Vulkanizität des Erdsphäroides, vielleicht selbst an seiner Productionskraft in Beziehung auf Formen des Pflanzen- und Thierreiches Antheil nehmen. Auch die chemischen Umwandlungsprocesse, der Stoffaustausch und Stoffwechsel in den Gesteinslagern werden durch die rithmische Folge chemisch entgegengesetzter Gesteinsplatten unterstützt.

Sobald ein Gestein, sei es ein Eruptions- oder ein Sedimentgestein, entstanden ist, beginnen auch schon die Atmosphärilien, Wasser und die luftförmigen Säuren, oder auch die eingeschlossenen organischen Stoffe, die Erdwärme und die vulkanischen Gase, sowie die

Digitized by Google

electrische Kraft an seiner Verwandlung. Stoffe werden ausgeschieden, in weite Ferne geführt, gegen andere vertauscht; es entsteht die dritte Art die Erdrinde zusammensetzenden Gesteine, — *die metamorphosirten Gebirgsarten.*

In den Eruptions- und Sedimentgesteinen begegnen wir auf Drusen, Höhlungen und Spalten, selbst im Innersten der Massen, zahllosen Krystallisationen, welche als die Anfänge der Gesteinsmetamorphose anzusehen sind. Schreitet die Umwandlung weiter fort, so verändern oft ganze Gebirgstheile mit ihrer chemischen Zusammensetzung ihr äusseres Ansehn. Kalkstein wird zu Eisenstein, zu Kieselerde, zu vielfach krystallisirten kieselsauren Salzen; aus Thon, Schieferthon und Thonschiefer entstehen Glimmerschiefer, aus Sandstein durch Aufnahme von Alkalien, Kalkerde und Eisenoxydul Gneus und Porphyr, wobei öfters organische Einflüsse noch deutlich erhalten bleiben.

Den neutralen Eruptionsgesteinen wird unter Ausscheidung von Kieslerde ein beträchtlicher Antheil der basischen Bestandtheile, Alkalien, Kalk- und Talkerde, Metalloxydule, entzogen; es entstehen Granit, Syenit, quarzführender Porphyr u. s. w. — Gesäuerte Substanzen werden durch den Einfluss der aus dem organischen Reiche abstammenden Kohlen reduzirt, es bilden sich Erz- und Metallager, während an andern Orten wieder der Sauerstoff der Atmosphäre in die Tiefen der Erde eindringend Säuerung bewirkt.

Digitized by Google

So finden wir eine wechselvolle Thätigkeit, eine unermüdliche Regsamkeit und einen beständigen Kreislauf der Atome überall, wohin wir unsere Blicke wenden. Wir, die wir als die Kinder der Erde aus ihr die Stoffe zu unserm irdischen Seyn gewinnen, müssen mit stets regem Interesse alle diese Hergänge verfolgen. Jede dieser Lebensäusserungen des Erdsphäroides, welche uns die ungeschwächt fortdauernde Productionskraft desselben verbürgt, muss uns auffordern, den Zusammenhang der irdischen Dinge zu erforschen. Es gewährt ein hohes Vergnügen, das Ineinandergreifen dieser Erscheinungen kennen zu lernen, zu sehen, wie das scheinbar unbedeutendste Glied der Wesenkette von höchster Wichtigkeit wird, wenn es im grossen Ganzen an der richtigen Stelle wirkt.

Wenn ein richtiges Verständniss von dem Baue der Erdrinde erlangt, die geologische Erscheinung der Gesteine richtig gewürdigt werden soll, so ist, wie ich glaube, vor allem die Kenntniss derjenigen Kräfte anzustreben, welche eben diesen Bau leiten und regeln, welche die Bildung der Gebirgsmassen bewirken. Ich will in dem Folgenden den Versuch wagen, auf diejenigen dieser Kräfte, welche wir noch heute an der Bildung der Gesteine thätig sehen, die Aufmerksamkeit zu lenken.

Bei unbefangener Betrachtung der Natur wird sich für Jedermann die Wahrheit des Satzes herausstellen:

Digitized by Google

dass, so lange der Erdkörper als solcher besteht, die Art und Wirkungsweise der an die Atome der Stoffe gebundenen Kräfte unverändert dieselbe geblieben sein muss; dass höchstens das Maas, die Energie dieser Kräfte zu verschiedenen Zeiten und an verschiedenen Orten grösser oder geringer gewesen sein mag. Es ist sohin auch klar, dass eine genäue Kenntniss der Kräfte, welche wir heute bei der Bildung der Gesteine thätig sehen, Aufschluss geben wird über das Dunkel, welches in vieler Beziehung noch in der Geologie verbreitet ist.

Wenn auch ehemals, als die Erdrinde nur erst wenige dünne Sedimentablagerungen enthielt, die Reaction des Erdinnern gegen die Oberfläche sich öfters in Hebungen, Senkungen, Faltungen der Sedimente äusserte als jetzt; auf andern Gesetzen als die heute gültigen hat diese Vulkanizität nicht beruhen können. Die ersten Pflanzen haben auf dieselbe Weise Kohlensäure in Sauerstoff und Kohle zerlegt, wie die jüngsten heut zu Tage wachsenden es noch thun. So lange der Stoff existirt, den wir Kalkerde nennen, hat er in niederer Temperatur ein grosses Bestreben gehabt, sich mit der Kohlensäure zu verbinden, und immerdar wird die stärkere Schwefelsäure oder in höherer Temperatur die schwächere Kieselsäure die Kohlensäure von der Kalkerde abzuscheiden vermögen; fallen diese Eigenschaften, so hört die Kalkerde auf, das zu sein, was sie jetzt ist.

Digitized by Google

Wenn wir nun von den Kräften reden, welche die Bildung der Gebirgsarten bewirken, so können wir vorerst nur diejenigen berücksichtigen, welche erfahrungsgemäss unter unseren Augen, aus den in anderer Form gegebenen Bestandtheilen Gebirgsschichten aufbauen. Die Kräfte aber, welche uranfänglich das Erdsphäroid aus den Elementen zusammenballten, die, welche ihm die Gestalt und den Weg bedingten, müssen wir als in eine historische Abhandlung, worin der Versuch gemacht wird, eine Geschichte der Erde zu geben, verweisen.

Es muss hier besonders darauf aufmerksam gemacht werden, dass ausser den dynamischen und chemischen Kräften auch noch andere mitgewirkt haben, um die Erdschichten in der Form und Weise, wie sie sich jetzt unseren Blicken darstellen, zu bereiten, besonders ist in dieser Beziehung auf den Einfluss der Lebenskraft der die Erdrinde bevölkernden organischen Wesen bei der Bildung und Metamorphose der Gebirgsmassen aufzumerken.

Wer die stille und kleine Kraftäusserung der Lebensthätigkeit der Organismen mit der lauten heftigen der Vulkane und der Meereswogen zusammen hält, möchte versucht sein, die erstere die bildende, schaffende, letztere die zerstörende, vernichtende zu nennen. Die Lebenskraft produzirt nur neue Mineralien und Gesteinsablagerungen, sie zerstört keine. Jedoch

Digitized by Google

ist auch die Vulkanizität als Bildnerin von Laven und Conglomeraten eine schaffende Kraft, wenn sie auch durch Erdbeben, Salsen und Fumarolen zerstörend wirkt. Die chemischen Kräfte zerstören und bilden neu, wogegen die Bewegungen des Wassers und der Luft nur vernichtend auf die Erdoberfläche wirken.

Digitized by Google

1. Die Wärme.

Die Wärme ist eine Kraft, welche sich wie das Licht in Wellenbewegung der Körper äussert. Sie bewirkt Ausdehnung der Körper, welche bei entsprechender Steigerung die Flüssigmachung und endlich die Verflüchtigung derselben hervorbringt. Eine Kugel von Antimon z. B. dehnt sich, bis auf einen gewissen Grad erhitzt, um ein Messbares aus, so dass sie auf einer Oeffnung, in welche sie kalt hineinfiel, liegen bleibt; bei + 513° C. schmilzt sie, wird tropfbar und nimmt dann noch einen grösseren Raum ein; zuletzt wird sie zu Gas (oder Dampf), wobei sie ein noch weit grösseres Volumen erfüllt. Die Wärme wirkt also ausdehnend, indem sie die Banden löst, welche die Atome der Körper verknüpfen und die kleinsten Theilchen zwingt, sich von einander zu entfernen. Hierdurch befördert sie die Verbindung der chemisch verwandten Körper, d. h. solcher Stoffe, welche nach den jetzigen

Digitized by Google

Ansichten der Chemiker in Folge der elektrischen Gegensätze sich am stärksten anziehen und zwar so, dass sie, aus anderen loseren Verbindungen tretend, sich innigst verschmelzen.

Die Wärme ist sohin eine Kraft, welche der Schwerkraft (Kohäsionskraft) gerade entgegenwirkt; sie macht die Körper leichter und veranlasst z. B. das wärmere Wasser, die wärmere Luft in der kälteren emporzusteigen, d. h. sich vom Mittelpunkte der Erde zu entfernen.

Jedes Lehrbuch der Physik gibt über die Eigenschaften der Wärme Aufschluss, ich habe daher nicht nöthig, dieselben hier weiter nachzuweisen. Auch die chemischen Wirkungen dieser Kraft werden in den chemischen Lehrbüchern abgehandelt; doch muss ich in dieser Beziehung die Freunde der Geologie darauf aufmerksam machen, dass die Stoffe, sobald sie durch die Wärme flüssig gemacht wurden, sich in anderer Weise verbinden, als wenn sie bei geringeren Temperaturen durch Auflösung in Wasser oder Säuren auf einander einwirken. Kieselerde ist z. B. in hohen Hitzgraden eine stärkere Säure als Chlor, Schwefelsäure, Kohlensäure u. s. w., weil sie bei Hitzgraden, bei denen letztere Stoffe schon längst Gasform angenommen haben, noch nicht einmal flüssig ist, während sie in der Kälte oder in geringerer Wärme leicht durch die zuletzt genannten Substanzen aus den meisten Verbindungen ab-

Digitized by Google

geschieden wird. Wenn also Verbindungen von Säuren und Basen in hohen Hitzgraden mit Kieselerde in Berührung kommen und sie nicht in einen Raum eingeschlossen sind, welcher das Entweichen der gasförmigen Stoffe verhindert, so müssen erstere Verbindungen gelöst und Silikate gebildet werden. Ueber die der Wärme als Ursache zuzuschreibende Wirkung bei dem Umbildungsprozesse der Erde müssen wir uns jedoch weiter verbreiten.

Wir unterscheiden erfahrungsgemäss die dem Erdballe durch die Sonne zugeführte, also *fremde* und die in seinem Inneren entwickelte *eigene* Wärme.

Diejenige Wärme, welche die die Erde bevölkernden Thiere und Pflanzen bei den in ihnen vorgehenden chemischen Aktionen erzeugen, ist zu der Summe der eigenen Wärme der Erde zu rechnen; denn alle diese Organismen gehören wesentlich dem Erdballe an.

Bekanntlich wird die Erde durch die von der Sonne zugeführte Wärme ungleichmässig erwärmt. Am Aequator ist die Wärme am grössten, an den Polen am geringsten. Die Ursachen der Vertheilung dieser das Klima bedingenden Wärme sind die Umdrehung der Erde um ihre Achse und und ihre jährliche Bewegung um die Sonne.

Aber nicht allein in der Richtung vom Aequator nach den Polen, sondern auch in der vom Centrum der Erde gegen das Zenith beobachten wir eine Tem-

Digitized by Google

peraturabnahme. Jedoch werden beide mit der Annäherung nach den Polen und der Erhebung über den Meeresspiegel bemerkte Temperatur-Differenzen durch mancherlei Einflüsse modificirt, so dass die Linien, welche gleichwarme Punkte der Erdoberfläche verbinden, keineswegs dem Aequator parallele, sondern mannigfach gewundene Linien bilden. Wir müssen diejenigen, welche sich über die Ursachen und die Gestalt der Isothermen, Isotheren und Isochimenen näheren Aufschluss verschaffen wollen, auf die physikalische Geographie verweisen und bemerken nur, dass im Durchschnitt bei je 36 Meilen oder 792000 Fuss grösserer nördlicher Breite und gleicher Meereshöhe die mittleren Temperaturen der Orte um 1 ° C., aber schon bei 520 Fuss grösserer Meereshöhe um eine gleiche Grösse abnehmen.

Diejenigen Punkte, an welchen der Schnee das ganze Jahr über nicht schmilzt, liegen also unter dem Aequator am höchsten über der Meeresfläche und sinken nach den Polen hin endlich auf das Meerniveau herab. Da von der Schneebedeckung, dem Eise, welches die Meere überzieht und als Gletscher die Thäler erfüllt, manche geologische Vorgänge abhängen, so ist die berührte Vertheilung der Wärme über die Erdoberfläche nicht bedeutungslos.

In den Oceanen bewegen sich Strömungen, welche eines Theils Folge des Umschwungs der Erde, anderen

Digitized by Google

Theils begründet sind in der ungleichen Erwärmung ihrer Oberfläche.

Diese Ströme des Oceans tragen Holz der Tropenzone in die arktischen Gegenden, häufen es dort an und bilden Treibholzlager; sie erwärmen die Küsten der nördlichen Kontinente, an denen sie herstreichen; sie zerbrechen die Eisberge der Polarzone, und wenn diese mit Gesteinsmassen beladen sich lostrennen, 6—700 Fuss tief eingetaucht, getrieben von den tieferen, gegen den Gleicher hin sich bewegenden Wasserschichten, in die südlichen Meere herabschwimmen, schmelzend ihre Last sinken lassen; so wird die ungleiche Erwärmung der Erdoberfläche eine der Veranlassungen des Phänomens der Irrblöcke (erratischen Blöcke), d. h. einzelner Gesteinfündlinge, welche mitten in einer fremden Umgebung, gleichsam als eingewandert, die Anzeichen ihrer fernen Abstammung an sich tragend, gefunden werden.

Die Meeresströmungen werden abgelenkt durch die Küsten der über das Meer erhobenen Länder; als die Wüste Nordafrikas noch Meer war, als die Landenge von Panama noch unter Wasser stand, muss daher auch die Richtung des Meeresstromes, welcher jetzt die Küste Norwegens bespült, eine andere gewesen sein. Es ist hieraus der Schluss zu ziehen, dass damals die klimatischen Verhältnisse Europas wesentlich andere waren, als sie es jetzt sind.

Digitized by Google

Die von Aussen stammende, oder vielleicht richtiger gesagt, durch äussere Anregung erzeugte Wärme erweckt und bedingt jetzt das animalische und vegetabilische Leben auf der Erde. Je näher dem Gleicher, desto mannigfaltiger sind die Formen dieses Lebens. In den kälteren Zonen nimmt die Zahl der Formen ab, während einzelne in zahlloser Menge neben einander vorkommend, die Einförmigkeit der Polarlandschaften veranlassen. In den Steppen Nordsibiriens bekleiden nur wenige Flechten und Moose den Boden mit einförmigem Grau, während auf den Antillen oft auf einem einzigen Baum hunderte von Schmarozerpflanzen ihre brennend gefärbten Blüthen entfalten.

Der Weltraum, in welchem sowohl die Sonne als die Erde schweben, hat nach den mit dem Actinometer (Wärmeausstrahlungsmesser) angestellten Beobachtungen jedenfalls eine niedrige Temperatur; *Pouillet* berechnet sie zu 142 ° unter dem Gefrierpunkte des Wassers. An diesen kalten Raum würde die Erde sohin beständig Wärme verlieren müssen, und sie würde dadurch endlich so erkalten, dass kein Leben mehr auf ihr möglich wäre, wenn sie nicht immerwährend durch die Strahlen der Sonne aufs Neue zu Wärmeerzeugung angeregt würde.

Solange die Wellenstrahlen, welche die Sonne ringsum in den kalten unendlichen Raum sendet, nicht die Oberfläche eines Planeten berühren, scheinen sie

Digitized by Google

weder Licht noch Wärme hervorrufen zu können; denn jemehr wir uns von der Erdoberfläche entfernen, desto kälter wird der Luftraum und desto matter wird das Licht, welches wir als von der Sonne empfangen ansehen. Es müssen also zur Erzeugung von Licht und Wärme zwei entgegengesetzte Körper auf einander reagiren.

Die durch die Mitwirkung der Sonne auf der Erdoberfläche entstehende Wärme durchdringt die Erdrinde in gewissen Zeiträumen bis zu einer gewissen Tiefe, wie dieses Beobachtungen in Kellern und Gruben darthun; auch wird dieselbe durch einsickernde erwärmte Wasser, durch Luftströme, welche in offene Klüfte und Höhlen ziehen, an einzelnen Stellen tiefer in das Innere eingeführt. Nach vielfältigen Beobachtungen ist in verschiedenen Zonen die Temperatur der oberen Erdschichten eine abweichende. Sie ist abhängig von der Lufttemperatur des Ortes. Auch die Temperatur-Schwankungen der Jahreszeiten pflanzen sich bis zu gewissen Tiefen in den Boden fort, wobei jedoch auch das grössere oder geringere Wärmeleitungsvermögen der Gesteine einwirkt.

In der tropischen Zone bemerkt man die Temperaturschwankungen der Jahreszeiten schon nicht mehr bei 1 Fuss Tiefe, während sie in unserer Breite (Bonn und Brüssel) in 60 Fuss erst verschwinden. Hieraus geht hervor, dass in gewissen Tiefen unter der Erd-

Digitized by Google

oberfläche die mittlere Temperatur des Ortes herrschen muss.

In Guayaquil z. B. bei 1′ unter der Oberfläche + 26°;
in Bonn „ „ 60′ „ „ . „ + 10°;
in Jakutzk, dessen mittlere Jahres-Temperatur — 9,7° ist, beträgt die Wärme des Erdbodens bei 50′ Tiefe nur . . . — 7,5°;
bei 358′ Tiefe nur . . . — 0,6°.

Während also in der Tropenzone die Erde nahe an der Oberfläche das ganze Jahr hindurch eine Wärme besitzt, welche der des Blutes des Menschen nahe kömmt, bleibt in der kalten Zone die Erde bis zu grosser Tiefe stets gefroren, auch wenn in dem kurzen heissen Sommer eine oberflächliche Schicht theilweise aufthaut.

Wenn man die Tiefen vergleicht, bei welchen die Temperaturschwankungen an verschieden hoch über der Meeresfläche unter etwa gleichen Breiten gelegenen Orten verschwinden, so findet man auch hierbei einen Unterschied. An Orten, welche dem Meeresniveau gleich liegen, ist die Tiefe, bis zu der die Schwankungen hinabreichen, beträchtlicher, als bei höher gelegenen; in der Nähe der Schneegrenze verschwinden diese Veränderungen fast gänzlich.

Diese Temperaturschwankungen müssen nun auch an den Quellen, welche den Erdschichten entsteigen,

Digitized by Google

beobachtet werden. Alle diejenigen Quellen, welche nicht tief aus der Erde kommen, zeigen grössere Schwankungen, als die, welche in bedeutender Tiefe ihren Ursprung haben. Letztere, welche oft auch die mittlere Temperatur des Ortes übersteigen, nennen wir *Thermen;* die ersteren sind noch dadurch ausgezeichnet, dass ihre Temperaturmaxima und Minima gewöhnlich in Zeitpunkte fallen, die den höchsten und niedersten Thermometerständen des Luftkreises entgegengesetzt sind. Es hat dieses einmal darin seinen Grund, dass die Wärme in den Erdschichten eine gewisse Zeit braucht, um sich fortzubewegen, dass also auch die Sommerwärme erst nach Verlauf einiger Monate in der Tiefe ankommt; das andere Mal entsteht dieser Umstand aber namentlich in hohen Berggegenden durch das im Sommer schmelzende und in die Quellen einseihende Schneewasser.

Auf grössere Wassermassen haben die Temperaturschwankungen nur geringen Einfluss, weil das erwärmte Wasser sich stets der Oberfläche nahe hält. An der Oberfläche werden die Seen aus diesem Grunde im Sommer ziemlich stark erwärmt, während sie in der Tiefe eine Temperatur behalten, welche der nahe steht, bei der das süsse Wasser die grösste Dichtigkeit hat ($= + 4{,}1\,^0$). Zur Zeit der kälteren Monate verlieren die oberen Schichten ihre Wärme, und sobald diese bis auf $+ 4{,}1\,^0$ fällt, sinkt die nunmehr ihr Dichtigkeitsmaximum besitzende Wasserschicht zu Boden.

Digitized by Google

Wenn das Wasser des Sees überall bis auf + 4,1 ° abgekühlt ist, erst dann beginnt seine Oberfläche bis auf 0 ° zu erkalten und zu gefrieren, da aber das Wasser von 0 ° leichter als das von + 4,1 ° ist, so kann der Frost nur sehr langsam gegen die Tiefe hin fortschreiten.

Im Meere und im gesalzenen Wasser überhaupt, sind diese Verhältnisse andere, weil das Dichtigkeitsmaximum des Meerwassers nicht über, sondern 3,67 ° unter dem Eispunkte des süssen Wassers liegt. Im Allgemeinen beobachtet man in allen Meeren, dass die oberen Schichten etwas wärmer, als die aufliegenden Luftschichten sind, während selbst in den Tropen, wo die Oberfläche bis + 27 ° erwärmt ist, die tieferen Wasserschichten nur + 2,5 ° bis 3 ° warm sind. Humboldt hat bewiesen, dass die Kälte der tieferen Schichten durch Strömungen von den Polen gegen den Aequator bedingt wird, wesshalb geschlossene Salzwasserbecken, in welche die Ströme der Tiefe nicht eindringen können, dieses Phänomen nicht wahrnehmen lassen.

Das süsse Wasser kann auf den Gebirgen Südamerika's der Schneegrenze nahe, selbst unter dem Aequator allnächtlich gefrieren, wogegen das Meerwasser nur in der kalten Zone zur Erstarrung kommt. Dieser Eisbildungsprozess in den Polarmeeren ist eine der grossartigsten Naturerscheinungen. Viele hundert Quadratmeilen Wassers gefrieren zu einer ungeheueren

Digitized by Google

Eisplatte von grosser Dicke. Ihre durch Stürme zerbrochenen Stücke häufen sich zu collosalen Bergen auf einander und treiben, durch Meeresströme bewegt, oft tief in den wärmeren Ocean hinab.

Wir knüpfen nun unsere Betrachtungen wieder an, an die Beobachtung der Temperatur-Differenzen in den festen Erdschichten. — Bis zu gewissen sowohl von den Breitegraden als von der Erhebung über das Meer und von den herrschenden Gesteinen abhängenden Tiefen schwankt die Temperatur der Erde in den Grenzen, welche die Jahreszeiten vorzeichnen; von da abwärts herrschen aber Gesetze der Wärmezunahme, welche eine *eigenthümliche Wärmequelle der Erde* nachweisen.

In tiefen Bergwerken beobachtete man schon vor langer Zeit eine Wärmezunahme; aber erst in den letztverflossenen Decennien sind genaue Ermittelungen darüber von den königlich sächsischen Bergbeamten angestellt worden. — Als Resultat aus etwa 13000 einzelnen Beobachtungen der in verschiedenen Tiefen der Gruben zu Annaberg ins Gestein versenkten Thermometer ist die Gewissheit entstanden, dass die Wärme der Erde im Erzgebirge auf je 125 pariser Fuss Tiefe um 1 ° C. zunimmt.

Bei artesischen Brunnenbohrungen in verschiedenen Gegenden hat die Temperatur schon bei 46, 70, 76, 89 bis 95 pariser Fuss Tiefenunterschied um 1 ° C.

Digitized by Google

kann, so bestätigen sie doch die anderwärts gemachte Erfahrung über das Vorhandensein einer *inneren Wärmequelle der Erde.*

Nehmen wir mit Zugrundelegung der sächsischen Beobachtungen an, dass auf je 125 pariser Fuss Tiefe die Wärme der Erde nur 1 ° C. zunimmt, so wird bei einer Tiefe von 1000mal, 125 = 125,000′ = 5,464 deutsche Meilen der Basalt die Temperatur haben, bei der er an der Oberfläche der Erde flüssig ist.

Der in diesen Tiefen durch die überliegenden Gesteinsmassen ausgeübte ausserordentlich hohe Druck muss aber die Schmelzpunkte der Substanzen ohne Zweifel bedeutend höher setzen, so dass der Basalt in einer solchen Tiefe vielleicht noch nicht einmal in einen Zustand der Erweichung versetzt wird.

Nach den Beobachtungen von Baily beträgt das specifische Gewicht oder die Dichtigkeit des Erdkörpers (das Wasser = 1 gesetzt) = 5,68. Da nun die specifische Schwere der Gesteine, welche die Erdoberfläche bilden, höchstens 2,4 bis 3,1 ist, so muss die Dichtigkeit gegen den Mittelpunkt der Erde ziemlich rasch wachsen. *Mädler* berechnet, dass bei 200 Meilen Tiefe das spec. Gewicht der Erdschichten schon etwa 5,68 sein dürfte, dass also eine Kugel im Inneren des Erdballes von 660 Meilen Durchmesser ge-

Digitized by Google

dacht werden muss, deren spec. Gewicht schon an der Oberfläche 5,68 beträgt, deren Schwere nach dem Inneren hin also die des Platins noch übersteigt. — Hieraus lässt sich schliessen, dass die Erde keine Hohlkugel ist. Es wird aber dadurch zugleich auch wahrscheinlich, dass sie im Inneren flüssig sei, indem der Druck auf feste (starre) Massen nicht leicht so stark verdichtend einwirkt, als nöthig ist, um dem Erdkerne die ihm eigenthümliche hohe Dichtigkeit zu geben, als jene ausserordentliche Schwere voraussetzt.

Die der Erdoberfläche näheren Gebirgsmassen sind nach allen Richtungen durch Klüfte und Spalten durchtrümmert, welche dem Wasser der Flüsse, Seen und Meere den Eingang in die Tiefe gestatten. Je tiefer der Bergmann seine Arbeiten in die Erdrinde eintreibt, desto reichlicher springt ihm aus diesen geöffneten Spalten das Wasser entgegen. Wir dürfen, weil alle aus dem flüssigen Zustande in den festen übergegangenen Körper einen geringern Raum erfüllen, als sie vorher einnahmen, voraussetzen, dass die erstarrte Erdrinde überall von solchen Wasser durchlassenden Spalten durchzogen werde. Sohin ist es erklärlich, dass Wasser und mit ihm gemengte Gase und in ihm aufgelöste Stoffe bis auf die feuerflüssigen Theile des Erdsphäroides hinabdringen können.

Wir wollen nun untersuchen, welche Rolle das bis zu dem stark erhitzten Erdkerne eingedrungene Wasser übernimmt.

Digitized by Google

Wenn eine Wassersäule von 32 par. Fuss *einen* Atmosphärendruck ausübt, so wird eine solche von einer Meile Höhe einem Druck von 714 Atmosphären das Gleichgewicht halten. Bei 308 Fuss Höhendifferenz schwankt der Siedepunkt des Wassers in der Atmosphäre um 1 °. Am unteren Ende einer Röhre, welche mit *Luft* gefüllt 22857 pariser Fuss in die Tiefe der Erde hineinragt, wird also das Wasser bei 174 ° C. erst zum Sieden kommen, und wenn diese Röhre ganz mit Wasser gefüllt ist, so wird ihr Boden noch viel höher erhitzt werden können, ehe der Kochpunkt des Wassers eintritt.

Bunsen und Des Cloizeaux beobachteten am Geisyr auf Island folgende Wärmezunahme des Wassers nach der Tiefe:

An der Oberfläche,	59′	über dem	Boden	$84,_7$ °	C.
	44′	„	„	$110,_0$ °	„
	$29^1/_2$′	„	„	$121,_8$ °	„
	1′	„	„	$126,_5$ °	„

Der Druck einer Wassersäule von 30 Fuss bewirkt eine Erhöhung des Kochpunktes um mehr als 21,8 °

Nach dem *Daltonschen* Gesetze über den Kochpunkt des Wassers unter hohem Drucke muss bei einem Drucke von 714 Atmosphären, wie er am Boden einer eine Meile hohen Wassersäule stattfindet, der Siedepunkt des Wassers erst eintreten bei circa 480 ° C.

Digitized by Google

Wenn nun in engen Kanälen der Erde oder in porösen Gesteinen Wasser in die Tiefe sinken kann, so ist es nicht unmöglich, dass es sehr hohe Temperaturen annimmt, ohne zum Sieden und zum Verdampfen zu kommen. Bei einer Tiefe von 22875′ beträgt die Erdwärme nach den im Erzgebirge Sachsens gemachten Erfahrungen berechnet erst circa 200° C′. Nach verschiedenen anderen Beobachtern (de la Rive zu Genf) ist die Temperaturzunahme um 1° C′. schon bei 90′ Tiefenunterschied; es würde dann eine Meile unterhalb der Erdoberfläche eine Wärme von etwa 260° C′. herrschen. Das bis zu solcher Tiefe in die Erde eindringende Wasser muss also auch mindestens bis 200 resp. 260° C′. erhitzt werden *), es bleibt in dieser Temperatur des

*) Dass wirklich die in die Tiefe dringenden Gewässer erwärmt werden, beobachten wir an allen aus ihr aufsteigenden Quellen, den Thermen. Viele von diesen haben Temperaturen, welche 20° um einige Grade übersteigen, seltener sind die von 60—100° Wärme.

Woher die Erde ihre innere Wärme hat, ist eine Frage, deren Beantwortung noch nicht mit Bestimmtheit erledigt werden kann. Von der eindringenden Sonnenwärme kann sie nicht herrühren, indem diese nicht hinreicht, um die tieferen Schichten über die mittlere Jahrestemperatur zu bringen, und bei der ungleichen Erwärmung in der kalten und heissen Zone jedenfalls in unseren Breiten eine beständige Temperatur geben müsste, welche der mittleren Wärme der Erdzonen 10 bis 15° nicht überschritte. In unseren Breiten sind aber gerade

Digitized by Google

grossen Druckes wegen, welcher auf ihm lastet, noch tropfbar flüssig.

Ich habe oben berechnet, dass die Erdkruste in einer Tiefe von $5_{,464}$ Meilen eine Temperatur von circa

---

die meisten Beobachtungen angestellt, welche eine viel höhere Temperatur der tieferen Erdschichten erweisen. — Es könnten indess chemische Prozesse, im Inneren der Erde vorgehend, die Quellen der eigenen Wärme sein.

Wir bemerken an der Erdoberfläche bei jeder Gelegenheit, wo sich Stoffe von verschiedener elektrischer Natur zu neuen Verbindungen einigen, Wärmeentwicklung; ich erinnere nur an die Verbrennung, Vereinigung des Sauerstoffs mit anderen Stoffen; an die Wärme, welche wir empfinden, wenn Säuren sich mit Metalloxyden verbinden. Wird bei dieser Vereinigung gleichzeitig ein Gas freigemacht, so entführt es gemeiniglich die ganze Wärme.

Ziehen wir den Umstand mit in Betrachtung, dass durch die zahlreichen Thermen, durch unzählige Gasexhalationspunkte, durch die vielen Vulkane und endlich durch die gesammte ausstrahlende Oberfläche der Erde und des Meeres immerwährend Wärme aus dem Inneren nach der Oberfläche hin entweicht, so ist die Annahme eines Wärme erzeugenden Prozesses in den tieferen Regionen des Erdballes jedenfalls gerechtfertigt.

Man hat zu berechnen versucht, um wieviel die Erde jährlich an Wärme durch Ausstrahlung verliert und diese Temperaturabnahme so äusserst unbedeutend gefunden, dass sie erst nach 6 Billionen Jahren *einen* Grad betrüge. Wir können sie also für unser Wahrnehmungsvermögen gleich Null setzen.

Digitized by Google

1000 ° C'. besitze. Am Grunde des meilentiefen Meeres ist die Temperatur + 2 °, wo Meeresbecken sich einsenken, muss sohin der Punkt, an welchem die Erdschicht 1000 ° Wärme besitzt, um die Tiefe des Meeres dem Erdcentrum näher rücken, als er sich an der Küste befindet; und umgekehrt, wo Berge und Hochebenen sich darstellen, soviel weiter als diese über den Meeresspiegel sich erheben, vom Centrum sich entfernen. Die Curve, welche die Punkte gleicher Temperatur der Erdrinde mit einander verbände, würde sohin eine den Unebenheiten der Erdoberfläche parallele Lage haben müssen, etwa wie in **Fig. 1** versinnlicht ist, wo c das Erdcentrum, die Linie a a' a'' a''' den Meereshorizont, b b'' die Bergspitzen und d d' d'' d''' die Undulation der Linie ausdrückt, welche durch alle Punkte von 1000 ° C'. gelegt gedacht wird.

Wenn Wasser durch am Boden des Beckens a a' l befindliche Spalten (Absonderungsklüfte etc.) in die Erde einfliesst, am Punkte d angekommen, sich seitwärts verbreitet, so kann es Punkte erreichen, welche seine Temperatur plötzlich noch bedeutend über 1000 ° erhöhen, es in Dampf verwandeln und dadurch Explosionen veranlassen.

Hiermit erscheint die innere Erdwärme als die die Erdbeben, die Vulkane, Salsen und Thermen hervorrufende Bedingung. Nach Humboldt *) ist die *Vulkani-*

*) Kosmos I. S. 209.

Digitized by Google

zität die *Reaktion des Erdinnern gegen die Oberfläche.* Diese Reaktion setzt aber das Eindringen des Meerwassers von der Oberfläche in die Tiefe als Aktion voraus.

Wir wollen diese *„geognostischen Phänomene, deren Hauptquelle die Wärme ist“*, der Reihe nach durchgehen.

A. Erdbeben.

Die Erderschütterungen sind entweder senkrechte oder horizontale in einer oder in mehreren Richtungen, im letzteren Falle kreisende (rotatorische). Die Erde erzittert dabei wellenförmig und die Bewegung wird mit ungeheurer Geschwindigkeit — 5 bis 7 Meilen in der Minute — fortgepflanzt. Die senkrechten Erschütterungen äussern sich in mienenartigen Stössen von unten nach oben und man hat Beispiele, dass dadurch Gegenstände (auch Menschen und Thiere) mehrere hundert Fuss hoch in die Höhe geschleudert worden sind.

Die horizontalen und rotatorischen Erschütterungen gehen von einem Mittelpunkt radienartig, wellenförmig aus und gewinnen nach dem Umfang der Kreise und Ellipsen allmählig abnehmende Stärke.

Während der zitternden Bewegung der Erde, durch welche, den Gesetzen des Stosses elastischer Körper zu Folge, die oberste Schicht der Erdrinde am heftigsten alterirt wird, ist in der Regel ein unterirdisches Ge-

Digitized by Google

töse, donnerähnlich, einer fernen Kanonade gleichend, rasselnd, wie das Fahren von schweren Wagen über Brücken, klirrend wie Ketten oder wie aneinandergeschlagene Steine, hörbar. In seltenen Fällen ist solcher unterirdischer Donner auch ohne Erderschütterungen vernommen worden.

Die Erschütterungen sowohl als das Getöse machen sich in weiten Kreisen bemerkbar. So das Erdbeben, welches Lissabon zerstörte (1. Nov. 1755); man hat dasselbe an der plötzlich steigenden Meeresfluth, am periodischen Ausbleiben der Quellen, an der Erschütterung der Erde auf einem Flächenraum von mehr als 720000 Quadratmeilen, d. i. dem einhundertzweiundzwanzigsten Theile der Erdoberfläche verspürt.

Es ist dieses ein Zeichen, dass der Punkt, von welchem die Erschütterung, wie von der Spitze eines Kegels, dessen Basis durch die Erdoberfläche begrenzt ist, ausgeht, sehr tief unter uns liegt.

Der Erschütterungskreis des Erdbebens von Lissabon hat einen Halbmesser von etwa 479 Meilen; er würde am Centrum der Erde einen Winkel von circa 69 ° bilden.

In Fig. 2 bedeutet a b c einen Kugelausschnitt der Erde, dessen Basis a b diesem Erschütterungskreise entspricht. Die Linie c b ist = 860 Meilen, der Radius der Erde. Wenn der Ausgangspunkt des Erdbe-

Digitized by Google

bens in d angenommen wird = 150 Meilen unter der Oberfläche; so fallen die Punkte a und b, oder die Grenzen des Erschütterungskreises mit ihm in eine Horizontalebene.

Unterhalb dieser Horizontalebene müsste die Wirkung des Erdbebens verschwinden, bei e müsste sie am grössten sein und allmählig abnehmen, wie die Widerstände mit der Dicke der zu durchlaufenden Erdschicht wuchsen.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Erscheinung der Erdbeben eine sehr gewöhnliche, allverbreitete ist, welche theilweise durch ihre geringere Stärke der Aufmerksamkeit, theils dadurch der Beobachtung sich entzieht, dass sie in den weiten nicht von Naturereignisse aufzeichnenden Menschen bewohnten, oder von Meeren bedeckten Flächen vorkömmt. Man bemerkt sie in den verschiedenen Gesteinsarten, und wie sollte sich auch eine der Massen, aus denen die oberen Erdschichten bestehen, dieser aus der Tiefe entsteigenden Bewegung zu entziehen vermögen?

Die Erschütterungen durchschneiden die Gebirgsketten oder laufen ihnen parallel, wobei es scheint, als ob die bis in grosse Tiefe reichenden Spalten, auf denen die diese Ketten hebenden Eruptionsgesteine entstiegen, den Wellenbewegungen eine ablenkende Richtung gäben. Jedenfalls von lokalen Umständen ist dabei die Erscheinung abhängig, dass zuweilen einzelne

Digitized by Google

Punkte der Linie jahrelang nicht von der Wellenbewegung berührt, mit der Zeit aber denselben wieder ausgesetzt werden.

Durch die Erdbeben werden einzelne Berge, Thäler, Küstenstriche, ja ganze Länderstrecken plötzlich aus ihrer Lage in eine andere gebracht, entweder gehoben oder gesenkt. — Es sind zahlreiche Beispiele der Art selbst aus historischer Zeit bekannt, selbst solche, bei denen Hebung und Senkung nach einer Reihe von Jahren auf einander folgten.

Mit dieser Bewegung des Gebirgsgesteines muss natürlich eine Zertrümmerung verbunden sein; es werden dadurch zahllose Spalten und Klüfte in den Gesteinen veranlasst, aus denen die bewegenden, das Erdbeben veranlassenden expansiblen Stoffe, Wasserdampf, Wasser, kohlensaure und andere Gase, nebst mitgerissenem Staub und Schlamm entweichen.

Es entstehen auf diese Weise Neubildungen im Gefolge der Erdbeben, vornehmlich Tuffschichten, Sandsteingebilde, Thonlager. Zahllose durch Mofeten (stinkende, erstickend wirkende Gasausströmungen) und die Katastrophe selbst getödete Geschöpfe werden in diese Schichten eingehüllt.

Auf Spalten erheben sich entweder Reihen von Kegeln aus schlammigen Substanzen gebildet, oder der geöffnete Boden speit Ströme von Schlamm aus, welche

Digitized by Google

weit hin Alles bedecken, oder aus dem Meere erheben sich neue Striche trockenen Landes, während andere unter die Wasserbedeckung versinken. Zuweilen fallen durch die Erderschütterungen felsige, steile Thalspalten zu, es bilden sich Felsdämme in ihnen, hinter denen sich das atmosphärische Wasser zu einem See aufstaut. Kann das Material des Dammes im Wasser aufweichen (z. B. Thonschiefer, Trachit o. d. g.), so muss der Damm endlich, dem Drucke des hinter ihm stehenden Wassers nachgebend, zerreissen und ungeheuere Schlammmassen ergiessen sich alsdann über die tieferliegenden Punkte.

Die Erscheinung des Erdbebens bewirkt bei den Menschen und Thieren eine grosse Bestürzung und Beunruhigung, was wol hauptsächlich in der Ungewissheit, wo es sich und auf welche Weise es sich äussern wird, seinen Grund hat.

Wenn dumpf dröhnend ein Gewitter naht, wenn ein Sturm im Anzuge ist und selbst wenn vulkanische Ausbrüche bevorstehen, so weiss man diese oft vernichtende Phänomene doch an Ort und Zeit gebunden. Bei Erderschütterungen jedoch bietet kein Punkt genügende Sicherheit, denn welcher Ort wird aufreissend die Oberfläche verschlingen, und welcher wird dem zagenden Fuss eine Zufluchtsstätte gewähren? Kein Anzeichen verkündet die nahende in ihren vernichtenden Folgen oft furchtbare Erscheinung.

Digitized by Google

Es lassen sich zahlreiche Beispiele von Erdbeben aufführen, welche in wenigen Augenblicken 40 bis 100 Tausende von Menschenleben und viele der prächtigsten Städte und Bauwerke vernichteten.

Die Erde erbebt plötzlich unter grausigem Getöse, welches durch den Einsturz der Gebäude, der Felsen und Berge neuen Zuwachs erhält, Dampf, selbst Flammen, erstickende Luft, Schlammfluthen entströmen den Spalten, welche sich unter den Füssen öffnend und schliessend alles Hineingefallene zerquetschen. Das Meer entfernt sich von den Küsten um mit Wuth zurückkehrend, ganze Landstriche zu verschlingen. See'n entstehen, wo festes fruchtbares Land war, Thäler bilden sich und ganze Landstrecken werden in die Höhe gehoben.

Alle diese ungeheueren Anstrengungen sind das Werk weniger Minuten und über dem grauenhaften Felde der Zerstörung lagert dann die Ruhe des Todes. Geheimnissvoll wirken die Kräfte des Inneren alsdann in den neugebildeten Spalten und Klüften; sie erfüllen jene mit den metallischen Stoffen, welche später dem nach der Gabe der Unterirdischen verlangenden Menschen zur Beute fallen.

Es kann hier keine spezielle Beschreibung einzelner Erdbeben gegeben werden, solche gehörte vielmehr in eine Specialgeschichte der Erde, in welcher auch die tägliche Witterung u. d. gl. erzählt würde; es muss

Digitized by Google

genügen, darauf hingewiesen zu haben, wie die Erscheinung der Erdbeben mit der inneren Wärmequelle der Erde im Zusammenhang stehe.

Den meisten Erderschütterungen kann kein Einfluss auf die Beschaffenheit der Atmosphäre zugeschrieben werden; nur selten ist beobachtet worden, dass, wahrscheinlich durch reichlich ausgedünstetes Wasser und dadurch veränderte elektrische Spannung in dem Luftkreise, die Regenzeit unter den Tropen in Folge von Erdbeben früher als gewöhnlich eingetreten ist.

In der Regel stehen die Erdbeben mit Ausbrüchen der Vulkane in der Weise im Zusammenhange, dass sie denselben vorangehen; jede Eruption hat eine Erschütterung als Vorläuferin. In Gegenden wo die Kanäle, welche das Erdinnere mit der Oberfläche in Verbindung setzen, erfüllt mit erstarrten Eruptionsgesteinen, geschlossen sind, können die Erderschütterungen der Bildung einer neuen bleibenden vulkanischen Ausbruchsöffnung vorangehen; es kann aber durch die von ihr gebahnten Wege (Spalten und Risse) auch das sich ausdehnende Gas des Innern entweichen.

B. Vulkane.

Auf den Spalten, welche bei den Explosionen der in das glühende Erdspähroid eingedrungenen Wasser gebildet sind, entweichen, sofern sie nicht wieder zu-

Digitized by Google

fallen, oder sich auf andere Weise schliessen, Dämpfe, Gase, durch Wärme zu verflüchtigende Stoffe, selbst aufwärtsgepresste oder mit aufwärts gerissene geschmolzene Erdmassen. Humboldt nennt desshalb mit Recht die Vulkane *intermittirende Erdquellen.*

Die Vulkane, welche jetzt auf der Erdoberfläche in Gruppen zerstreut stehen, scheinen erst entstanden zu sein als die Tertiärschichten schon abgelagert waren; es bildeten sich in historischer Zeit noch neue oder kamen solche, welche lange geruht und für erloschen gehalten wurden, wieder in Thätigkeit. Manche Vulkane, wie z. B. die in der Eifel und der Auvergne scheinen ebenfalls erloschen; vielleicht aber kommen auch sie einst wieder zu einer grösseren Regsamkeit.

In den Basalten und Melaphyren, welche in der unserer Zeit vorausgegangenen Periode entstanden, die von den mittleren Tertiärschichten bis zu der Trias und vielleicht bis zur Epoche der Kupferschieferformation hinabreichen, erkennen wir vielfältig dieselben Bildungen, wie sie die jetzt thätigen Vulkane noch darbieten. Es liegt, da auch die ältere Pyroxen- und Amphibol-, Labrador- und Feldspathgesteine, welche wir zu den Eruptionsgesteinen ziehen, in vielen Erscheinungen mit den Basalten übereinstimmen, der Gedanke nahe, dass sie alle Erzeugnisse der vulkanischen Thätigkeit seien.

Die Reaktion des Innern der Erde gegen deren Oberfläche musste jedenfalls von dem Zeitpunkte be-

Digitized by Google

ginnen, von welchem sie durch das Eindringen des Wassers bis zu dem hocherhitzten Erdkerne hervorgerufen ward. Dass, solange die erkältete Erdrinde noch dünner war, die Wirkungen andere sein mussten, dass namentlich damals bedeutendere Lavenergüsse statt finden mussten, sehen wir aus der Vergleichung der Hochlande Südamerikas, der im Niveau des Meeres liegenden Vulkane des Mittelmeeres, der canarischen Eilande u. s. w. Erstere geben keine Lavaströme, während letztere dies Phänomen entweder aus dem Krater oder aus den Spalten an ihrem Fusse so oft zeigen.

Sehr verschieden musste auch die frühere Vulkanizität der Erde von der jetzigen schon wegen der bei weitem ausgedehnteren Wasserbedeckung sein, es mussten bei weitem mehr horizontalgelagerte Laven- und Conglomerat- (Tuff) Schichten entstehen, als jetzt, wo die submarinen Ausbrüche seltener geworden zu sein scheinen.

Ich will versuchen von all' diesen verschiedenen Erscheinungen der Vulkanizität eine Vorstellung zu geben, indem ich in historischer Zeit vorgekommene Fälle beschreibe.

a) Auftreten der Vulkane unter Wasserbedeckung.
(Submarine Vulkane.)

Es war vier deutschen Naturforschern, Friedrich Hofmann, Dr. Philippi, Dr. August Schulz und

Digitized by Google

Escher von der Linth vorbehalten, die ersten wissenschaftlichen Beobachtungen an dem submarinen Ausbruch des ephemeren Eilands Ferdinandea, welches vom Juli bis zum Dezember 1831 zwischen Sicilien und Afrika aus dem Mittelmeere hervorragte, anzustellen, als sie sich dem geognostischen Studium Siciliens gewidmet hatten.

Die erste Wahrnehmung der Eruption machte ein sicilianischer Schiffsführer Francesko Trefiletti am 8. Juli 1831 auf seiner Fahrt von Malta nach Palermo. Er sah etwa 30 Miglien (= 5 Meilen) von Sciacca auf Sicilien entfernt eine grosse sich in die Höhe hebende Wassermasse, vernahm als er sich der Erscheinung auf etwa 3 Miglien = $^1/_2$ Meile genähert hatte, ein donnerähnliches Getöse, gewahrte, dass die sich an 100 Palmen in die Höhe hebende Wassermasse schwarz sei. Das Wasser sprudelte 10 Minuten lang auf und sank alsdann nieder, während sich aus ihm eine dicke, den ganzen Horizont einhüllende Rauchmasse entwickelte. Dieses Phänomen wiederholte sich alle 15, 20 bis 30 Minuten. Die Aufregung des Meeres war selbst noch am Schiffe fühlbar, und unzählige getödete Fische bedeckten bis zu 7 Miglien Entfernung dessen Oberfläche. Während der Nacht hörte man nur das Donnergetöse der Ausbrüche, ein Zeichen, dass bis dahin noch kein Lichtschein der glühenden Erdmassen durch das Wasser empordrang.

Digitized by Google

Die obengenannten Naturforscher besuchten den Vulkan am 24. Juli. Bei Sciacca fanden sie am Monte di San Cologero 45° warme Schwefelquellen und heisse Wasserdampfausströmungen aus Spalten des Kreidekalksteines; sie wurden benachrichtigt, dass seit 1740 bis 1816 dortselbst kein Erdbeben gespürt worden sei; dass in letztgenanntem Jahre jedoch ein dreitägiges mit unterirdischem Donner verbundenes anhaltendes Zittern der Erde beobachtet wurde; dass die grossen Erdbeben von 1818 die Umgegend nicht erschüttert hatten, wohl aber an allen Tagen vom 28. Juni bis 2. Juli 1831 schwache Erdstösse in der Richtung vom neuen Vulkan nach Palermo hin d. i. von Südwest nach Nordost bemerkt wurden. Sie beobachteten, dass der neue Vulkan an einer Stelle entstand, an welcher Kapitän Smyth in seinem Küstenatlas von Sicilien die Corallenbank Banco Nerita 17 bis 22 Toisen (= 102 bis 132′) unter dem Meere angiebt, — sie fanden die Küste bedeckt mit Anschwemmungen von lichtgrauen blasigen schwammigen Schlackenstückchen von der Grösse einer Haselnuss, untermengt mit derben augitischen Lavabröckchen, keine Bimssteine. Der Wind trieb Schwefelwasserstoffgeruch nach der Küste, auch die aufgebrochenen Schlacken entwickelten solchen.

F. Hofmann sagt über den ersten Anblick des neuen Vulkanes Folgendes:*)

*) Karstens und v. Dechens Archiv 13. Bd. S. 100 u. ff.

Digitized by Google

„Wir beobachteten mit Erstaunen die ungeheueren Dampfmassen, welche sich ununterbrochen, scheinbar hinter der von uns gesehenen Insel (dem Aschenkegel) aus der Oberfläche des Meeres hervordrängten. In grosse Kugeln geballt wirbelten sie mit grosser Heftigkeit, eine hinter der anderen in die Atmosphäre hinauf, und ihr im Sonnenschein fast blendend weisses Ansehen gab der Erscheinung ihrer in tausendfältiger Abstufung durcheinanderwogenden Dunstmassen etwas ungemein Malerisches. Prachtvoll entfalteten sich, geräuschlos hervorgleitend, diese Nebel, wie grosse Schneemassen oder wie Ballen frischer Baumwolle übereinander gehäuft, und bildeten locker aneinander gekettet die riesengrosse Säule, welche ununterbrochen den Ort ihrer Entstehung bezeichnete. In Zeitabständen von 2 und 3 Minuten fuhren durch die glänzend weisse Hauptmasse, mehr oder minder hoch, schwarze Schlackenwürfe. Die durcheinander getriebenen Dampfwolken ballten heftiger sich und schienen in sehr ansehnlicher Breite bis zur Oberfläche des Meeres wieder herabzurollen. Verschwunden war die Insel und die aufwallende Wasserfläche schien mit den stürmisch durcheinanderrollenden Dämpfen und den Schlackenwürfen in ununterbrochenem

Digitized by Google

Zusammenhange, bis die Bewegung des Windes sie wieder auseinanderbrachte."

Das Schiff näherte sich dem Vulkane bis auf etwa 10 Minuten Entfernung, so dass alle Einzelnheiten deutlich unterschieden werden konnten, und Hofmann fährt in seiner Beschreibung folgendermassen fort:

„Wir sahen nun, dass die Insel nichts anderes sei, als der oberste und sehr unregelmässige Rand einer grossen Krateröffnung. Lose aufgeschüttet aus schwarzen Schlackenstücken und Rapillimassen, glaubten wir den Saum von dem hohen Aschenkegel des Aetna oder die Spitze des Monti rossi bei Nicolosi an der Oberfläche des Meeres zu erblicken. Der Ostrand dieser Krateröffnung war der zusammenhängendste, da ihn wahrscheinlich die in den letzten Wochen immer vorherrschenden Westwinde vorzugsweise hatten wachsen machen. Wir schätzten seine Höhe gegenwärtig auf etwa 60′ über der Meeresfläche. Minderhoch und westwärts niedriger auslaufend, war der Nordrand, welchen wir zuerst von Norden kommend für die ganze Insel angesehen hatten. Auf der Südseite war die Einfassung des Kraters nur sehr unbedeutend über die Wasserfläche erhaben und endlich auf der Westseite unterschied man nur mit Mühe noch an der Oberfläche den Zusammenhang mit den ebenerwähnten Rändern."

Digitized by Google

Hofmann schätzt den Durchmesser des Kraters auf 600, den der Insel auf 800 Fuss, fand die Wärme des Meerwassers in der Nähe nicht höher als in grösserer Ferne, nämlich 21° R. Die aufsteigende Rauchsäule gibt er zu 2000' hoch an. Schon wollte man die Kraterwand zu betreten wagen, als ein neues Ereigniss die Gefährlichkeit eines solchen Unternehmens zeigte und es unterbleiben machte.

„Dicken Dampfmassen folgten sehr schnell schwarze Aschenwürfe und ununterbrochen hervorschiessend arbeiteten sich Schlacken-, Sand- und Steinwürfe bald empor bis zur Bildung einer drohend dastehenden schwarzen Säule, deren Höhe wir zu reichlich 600' über dem Meer schätzten.

Stets neue Schüsse drangen durch das Dunkel dieser furchterweckenden Hauptmasse.

Wie Raketenbüschel verbreiteten sie sich garbenförmig am oberen Ende oder an den Seitenrändern, der nach oben keulenförmig breiter werdenden Aschensäule. Vorn schossen durch grössere Schwungkraft getrieben, die schweren Schlacken- oder Steinstücke, und ein dunkler breiter Sandstreifen bezeichnete die Bahn ihrer Wurflinien. Stets, wie die grossen Sand- und Aschenmassen von dem Scheitelpunkte, bis zu welchem sie geschleudert werden, sich zurück-

Digitized by Google

bogen, um als dichter schwarzer Regen dann ins Meer oder auf die Abhänge des Kraters zu fallen, entwickelten sich aus den umgebogenen Rändern ihrer Würfe überaus herrlich jene schneeweissen wogenden Dampfmassen, und unglaublich prächtig war der Anblick der schwarzen Säule mit weissen Kronen auf dem dicht verdunkelten, von grauem Nebel gefärbten Hintergrunde."

Die Aschenmassen fielen zwischen der Insel und dem Schiffe in das Meer und entwickelten aus letzterem reichlich Wasserdämpfe; etwas weiter wurden die Steine geschleudert, welche unter heftigem Aufspritzen in das Wasser stürzten.

Die Dauer des Ausbruchs betrug etwa 8 Minuten, kein Krachen, keine Detonation bezeichnete den Vorgang und nur dann und wann verursachten die gegeneinander geschleuderten Steine ein Rasseln und Platzen in der Säule. Durch die schwarze Aschenwolke fuhren das Majestätische der Erscheinung erhöhend hellleuchtende Blitze, denen jedesmal rasch ein heftiger und anhaltender Donner folgte. Diese Blitze kamen nicht aus dem Krater, sondern schwebten frei besonders in den oberen und seitlichen Theilen der grossen Dampfsäule.

Diese Blitze waren die einzige Feuererscheinung, welche die Eruptionen begleiteten, namentlich ward kein

Digitized by Google

rother Feuerschein, wie am Aetna und Vesuv wahrgenommen.

Fr. Hofmann ist der Ansicht, dass der Sitz der Eruption in grosser Tiefe gewesen sein müsse und glaubt, dass wenn sie von Lavenergüssen begleitet gewesen wäre, diese in grosser Tiefe auf dem Meeresgrund austreten würde und vielleicht könne dieses ungeahnt von den eben darüber Hinschiffenden der Fall sein.

Als die Ausbrüche nachgelassen, landete Constant Prevost am 29. September auf der neuen Insel, die man *Ferdinandea* genannt hatte.

Nach Schwefel riechende, nicht entzündbare Dünste entstiegen der Insel und dem dadurch in ein Aufschäumen versetzten Meere. Die Insel mochte 2000 Fuss Umfang haben; sie war in der Weise kegelförmig, dass sie dreimal soviel Breite als Höhe hatte, ihr Fuss fiel senkrecht ab und den 180′ breiten Krater füllte gelbrothes Wasser. Sie bestand gänzlich aus schwarzem Sande, Asche und Lavabröckchen; Eisenglimmer, Kochsalz und Schwefelsublimationen bedeckten die Kraterwände stellenweise. Auf geringe Breite war das Eiland mit schwach geneigtem Grunde umgeben, welcher alsdann plötzlich steil abfiel.

Nach und nach ward die Insel vom Wogendrange fortgespült; sie verschwand Ende 1831, an ihrer Stelle ist eine etwa 240 Fuss lange Untiefe 8 bis 10 Fuss

Digitized by Google

unter Wasser, welche zackige Felsspitzen mit Korallen und Seekräutern besetzt trägt.

Manche andere submarine Eruptionen sind wohl gesehen aber nicht genauer in ihrem Verlaufe beobachtet worden; nur eine, die von Santorin hat sich zuverlässiger Beachtung zu erfreuen gehabt, weil sie in dem Meerbusen einer der griechischen Inseln, in der Nähe der Menschen statt fand.

Die Insel Santorino, ehemals Thera, hat die Form eines Halbmondes. Ihr innerer Rand ist ein fast senkrechter Absturz von 750 Fuss Höhe, welches sich noch in derselben Steilheit an 1700 Fuss unter die Meeresfläche fortsetzt, während ihre äusseren Seiten allmählig in das Meer verlaufen. Die beiden Hörner des Halbmondes zeigen auf zwei andere weniger hohe Inseln hin, die 233 v. Ch. in Folge eines heftigen Erdbebens von Thera getrennte Therasia und die kleine Aspronisi, wodurch der ovale Krater den das Meer bedeckt, geschlossen erscheint.

Dieses Kraters Längenachse misst circa 30000′, die kürzere nur 18000′. Die Inseln, welche ihn umschliessen, bestehen aus nach allen Seiten abfallenden Schichten von Trachyttuffen und Conglomeraten abwechselnd mit Lavaströmen, ein Theil von Santorin, Eleusis und der Eliasberg ist körniger Kalkstein und Glimmerschiefer. — **Fig. 3 und Fig. 4.**

Digitized by Google

Man sieht deutlich, wie die ehemals eine znsammenhängende horizontale Platte bildenden Schichten durch die Kraft der Tiefe vom Mittelpunkt aus erhoben, aufgeborsten sich um den Krater angeordnet haben. Durch jene hebende Kraft wurden im Mittel des Kraters allmählich Inseln über die Wasserfläche emporgetragen, welche aus festem, glasigem Trachyte abweichend von dem der Ränder bestehend, noch die Austern und andere Muscheln tragen, die unter dem Meeresspiegel auf sie sich festgesetzt hatten.

Die erste dieser inneren Inseln, Paläo-Kaimeni, erschien ohne besondere Erscheinungen 196 Jahre vor Christi Geburt über der bis dahin noch einen ununterbrochenen Spiegel bildenden Meeresfläche des Golfes.

Einhundert sieben und siebenzig Jahre später (19 v. Chr.) erhob sich nun 5 bis 600′ davon eine neue Insel, welche sich mit Paläo-Kaimeni vereinigte, auch 726 und 1427 nach Christi Geburt vergrösserte sich dieses Eiland noch.

Mikrokaimeni hob sich 1573 über die Meeresfläche und an einer vorher 400′ tiefen Stelle trat 1707 bis 1709 Neokaimeri ans Tageslicht.

Am 18. und 22. Mai 1707 wurden auf Santorin leichte Erderschütterungen verspürt; am Morgen des 23. Mai war eine aus einem einzigen Bimssteinblocke bestehende Insel, auf welcher grosse Austern hafteten, über das Meer herausgehoben worden. Allmählich

Digitized by Google

wuchs diese Insel an Ausdehnung und bis Mitte Juni hatte sie 30 Fuss Höhe und eine halbe Meile im Umfang. Den 16. Juni traten 18 schwarzbraune Trachytfelsen in ihrer Nähe hervor, das unruhige Meer kochte beinahe vor Hitze. Diese Felsen vereinigten sich und am 18. Juni schleuderte ein Krater in ihrer Mitte Asche, glühende Steine, Flammen und Rauch aus. Im Jahre 1712 war dieser Vulkan noch nicht ganz ruhig, er hatte einen Umfang von mehr als einer Meile und beinahe 200 Fuss Höhe.

Seit den ersten Dezennien unseres Jahrhunderts hebt sich zwischen Mikrokaimeni und Santorin der Meeresboden aufs Neue, so dass da, wo früher in 90 Fuss Tiefe erst Grund zu finden war, jetzt in 12 Fuss Tiefe eine für grosse Schiffe gefährliche Klippe ansteht.

Aus diesem Beispiele ersehen wir, wie sich am Meeresboden allmählich Vulkane bilden, wie sie sich zu Inseln erheben und endlich bleibend über die allgemeine Wasserbedeckung hervorragen. Da wo Santorin im Meere liegt, sind zweifelsohne früher submarine Ausbrüche erfolgt, deren Produkt die Trachyttuffe und Lavaschichten sind, aus welchen der grosse Krater Santorin, Therasia und Aspronisi besteht. — Allmählich wurden diese horizontalen Schichten durch die fort und fortwirckende Kraft der elastischen Dämpfe gehoben, zerbrochen, aufgerichtet; in ihrer geborsteten

Digitized by Google

Mitte treten seit Jahrtausenden Felsen hervor, welche vielleicht endlich eine bleibende vulkanische Esse, eine beständige Verbindung des Erdinnern mit der Atmosphäre einschliessen.

Sicilien, Volkano, Ischia, Teneriffa, Island und die zahllosen vulkanischen Eilande, vielleicht selbst alle Kontinente mögen auf diese Weise aus dem Weltmeer emporgetragen worden sein.

b) Auftreten der Vulkane auf dem festen Lande.

Wenn sich bei den untermeerischen Ausbrüchen der Vulkanizität die erste Aufblähung der Erdschichten, die Bildung der Krater und die Ausströmung der Lava der Beobachtung durch die Wasserbedeckung entzog, so liegen diese Ereignisse bei den Vulkanen auf dem festen Lande der Beschauung blosgestellt. Dagegen ist für die Beobachtung der Aschen- und Dampfauswürfe ein submariner Ausbruch, wie der der Insel Ferdinandea, wegen der grösseren Leichtigkeit sich demselben zu nähern und wegen der geringeren damit verbundenen Gefahr für den Beobachter geeigneter.

Bei den übermeerischen oder atmosphärischen Vulkanen kommt deren Erhebung über das und ihre Entfernung vom Meer in Betrachtung, weil die niederen auf Inseln und Küsten stehenden in der Regel mehr Lava aus ihren Kratern und Seitenspalten geben, während bei den in Mitte der Kontinente auf Hoch-

Digitized by Google

ebenen liegenden die Lava eine fast ungekannte Erscheinung ist.

In der dem stillen Meere hinneigenden Ebene Mexiko's entstand in der That, als das Erdbeben, welches wegen seiner auffallendsten Zerstörung das von Lissabon genannt wird, die westliche Halbkugel und auch einen Theil der östlichen erschütterte auf einem Terrain, welches seit undenklicher Zeit, vielleicht noch nie vorher solche Erscheinungen kannte, ein neuer Vulkan, der von *Jorullo* auf der Ebene von los Pastos, genau in einer Linie von dem Vulkane von Columa nach dem von Toluka, welche mit dem Popokatepetl, dem Iztaccihuatl, den Vulkanen von Orizaba, von Tuxtla und dem Koffre de Perote einer Gruppe Reihenvulkane auf einer zwischen 18° 59′ und 19° 12′ nördlicher Breite quer durch Centralamerika hinziehenden Spalte stehend, angehören.

Alex. v. Homboldt war der erste, welcher von diesem am 29. Sept. 1759 aufgestiegenen Vulkane Kunde nach Europa brachte, als er 1803 auf seiner grossen Reise jene Gegenden besuchte. Er sammelte Alles, was er von dem Phänomen noch in der Erinnerung der Umwohnenden fand.

Nach vorhergegangenen, 60 Tage lang anhaltenden Erdbeben, welche so rasch aufeinander folgten, dass man an einem einzigen Tage bis 47 einzelne Erschütterungen von grosser Heftigkeit zählte, schwoll endlich Ende September 1759 ein ungefähr drei Quadratmeilen

Digitized by Google

grosses Stück der von den Flüssen Cuitimba und San Petro gewässerten fruchtbaren mit Plantagen bedeckten Ebne, wie eine Blase auf, hob sich am Rande 24 bis 30 Fuss senkrecht heraus und rundete sich, wie ein Schild, in der Mitte eine Höhe von mehr als 500 Fuss erreichend. Dem einen Rande näher barst die Erde, Felsblöcke und Trümmer des mergelartigen Gesteins wurden zu ungeheueren Höhen geschleudert, Asche, Sand erhob sich in einer mächtigen Garbe, ward über die Umgebung geführt und zerstörte in weitem Umkreise die Pflanzen. In der Nähe war der Aschenfall so bedeutend, dass dadurch Bäume und Häuser erdrückt wurden und bald sechs Aschenkegel auf der Spalte entstanden, welche 300 bis 600 Fuss Höhe hatten. Feuer und Rauch, in weiter Ferne sichtbar, entstieg den neuen Kratern, die Flüsse San Petro und Cuitimba flossen in Spalten des Vulkans und halfen die Heftigkeit der Explosion vermehren. Ein zäher Thonschlamm brach in Folge des Wassereinflusses aus dem Vulkane, unzählige kleine Hügel, 10 bis 12 Fuss hoch, aus Basaltkugeln, Steinbrocken und Mergel bestehend, erhoben sich um den Fuss der Aschenkegel, alle spieen kochenden Wasserdampf und Gase aus. Humboldt sah sie noch als Fumarolen, saure Dämpfe aushauchend, wodurch der sie zusammensetzende Basalt in einen braunen Thon umgewandelt wird.

Dem Krater des erhabensten Aschenkegels ist endlich eine zähe, schlackige, schwarze basaltische Lava

Digitized by Google

entflossen. Sie bildet einen steil ansteigenden Strom von grosser Mächtigkeit, so dass daraus auf ihren schon erkalteteren Zustand bei der Eruption geschlossen werden muss und enthält viel Olivin und eingebackene Syenitbruchstücke. Die Eruption fand hiernach durch Syenit statt. Fig. 5.

Jetzt ist die vulkanische Thätigkeit des Jorullo fast ganz erloschen, die Fumarolenkegelchen — von den Umwohnenden Backöfchen, Hornitos, genannt — sind durch Regen, Reaktion der saueren Gase und die Vegetation fast ganz geebnet; die Hauptkrater stossen nur noch schwefelige Dämpfe aus; nur die starken Quellen, welche durch die Versinkung der obengenannten beiden Flüsse entstanden sind, sind noch sehr heiss und enthalten viel Schwefelwasserstoff.

Dieser Vorgang gibt eine Vorstellung, wie sich die Entstehung der Vulkane an der Oberfläche der Erde gestaltet.

Durch den sich in Erdbeben äussernden Druck der im Inneren entwickelten Gase und Dämpfe spaltet sich die erstarrte Erdrinde; sie bläht sich da, wo zähere Gesteine die entstandenen Spalten bedecken, auf; die Dämpfe heben diese zäheren Schichten, unter welche in die entstandene Höhlung Lava sich eindrängt. Endlich platzen die gehobenen Schichten, die Gase entweichen und reissen Gesteinstaub, Steinblöcke, Lavatheilchen mit sich in die Höhe.

Digitized by Google

Die Pressung, mit welcher die Gase und Dämpfe aus der Spalte hervordringen, muss um so grösser sein, je dicker die Gesteinschicht ist, welche sie gehoben haben und je höher die Hitze ist, welche die emportretende Lava besitzt. Je grösser diese Pressung ist, desto rascher wird das Gas entweichen und desto mehr Asche und Lavabröckchen wird es mitreissen, wie die eingepresste Kohlensäure, wenn der Kork geöffnet wird, das moussirende Bier und den Schaumwein mit sich aus dem Halse der Flasche heraustreibt.

Die Asche und Steinbrocken finden beim Aufsteigen in der Luft Widerstand, die von ihnen gebildete Säule breitet sich garbenförmig aus, und in parabolischen Bogen sinken die Stücke und Stückchen zurück, theils wieder in den Krater, theils aber auch auf den Rand desselben fallend. Hier rollen sie, sobald sich eine Erhöhung gebildet hat, nach Aussen, es entsteht ein Kegel, in dessen Mitte der Krater sich einsenkt.

Die Kegelbildungen können im Kleinen beobachtet werden, wo pulverisirter Gyps, um ihn zu Mörtel anzumachen, vorher in einer Pfanne geglüht wird. Der entweichende Wasserdunst reisst in den gebildeten Oeffnungen Stäubchen mit sich, welche zurückfallend kleine Kegelchen mit Kratern in der Mitte bilden.

Da wo der Kanal, welcher die Atmosphäre mit dem glühenden Erdinnern verbindet, offen bleibt, nachdem der erste bildende Ausbruch vorüber ist, wird die

Digitized by Google

fernere Thätigkeit des Vulkanes eine die Erdbeben mildernde, denn die Dämpfe und Gase haben nun Gelegenheit continuirlich, wie durch eine Esse abzuziehen.

Je nach dem Standorte äussern sich die Vulkane auf eine verschiedene Weise. Während z. B. der am Meer liegende niedrige Stromboli auf den cyclopischen Inseln seit Jahrtausenden unausgesetzt seine Dämpfe, Flammen und Laven, dem Schiffer des Tyrhenischen Meeres zur nächtlichen Leuchte, aussendet und täglich mehrere Eruptionen macht, ruhen die höher über das Meer erhobenen Vulkane oft längere Zeit, zuweilen selbst Jahrhunderte lang, ehe sie wieder einmal ihre Thätigkeit zu einem Ausbruche steigern.

Der Verlauf der Erscheinungen ist bei allen diesen Eruptionen im Allgemeinen derselbe.

Aus grosser Tiefe kommendes Getöse, verbunden mit Erderschütterungen zeigt jeden nahenden Ausbruch an und nur wenn bei den täglich thätigen niedrigen Vulkanen diese Bebung sich nur auf den dem Krater am nächsten liegenden Theilen des Berges bemerkbar macht, so steigert sie sich bei den höheren oft zu weite Umkreise verheerenden. Endlich gewinnen die die Erschütterungen veranlassenden Dämpfe und Gase im tiefsten Grunde des Kraters einen Ausweg, sie treiben die den Schlot erfüllenden Steinmassen, die Reste des vorhergegangenen Ausbruchs vor sich her und schleudern sie mit einem gewaltigen Stosse zu grosser Höhe auf-

Digitized by Google

wärts. Bei den mit Schnee und Eis bedeckten Vulkanen der Anden und Islands schmilzt dabei in Folge der inneren Erwärmung das erstarrte Wasser, es entstehen oft ins Ungeheuere gehende Fluthen, welche grosse Eis- und Steinmassen mit sich fortführend, die nahen Gegenden verheeren. — In dem geöffneten Krater steigt nun das geschmolzene Gestein der Tiefe, *die Lava*, in die Höhe und wirft rothen Feuerschein auf die Dunstsäule, welche über ihm entweicht. Nachdem die Gase den Ausweg gefunden haben und der Druck auf den tieferen Schichten ruhend, gemässigter zu werden beginnt, nehmen die Gesteine der Tiefe eine ihrer Temperatur entsprechende Körperbeschaffenheit an; sie werden flüssig. Andere Blasen elastischer Dämpfe folgen sich rasch aufeinander, mechanisch Lava in grösseren zuhammenhängenden Portionen, welche sich während des Weges zu Kugeln (Bomben) ballen, und rascher erkaltenden Staub (Asche), mit emporreissend.

Die mit Heftigkeit den flüssigen Lavabrei durchströmenden Gas- und Dampfblasen üben hier dieselbe Wirkung aus, wie die durch Säuren aus der Lösung eines Karbonates freigemachte, sich rasch entbindende Kohlensäure; sie reissen Theile des Flüssigen mit aufwärts, um sie als einen Regen, hier von Wassertropfen, dort von Gesteinstaub wieder fallen zu lassen.

Die Dämpfe bestehen vorzugsweis aus Wasserdampf von ausserordentlich grosser Spannung, denn

Digitized by Google

da die Lava mindestens eine Temperatur von 900 bis 1000 ° C. hat, so müssen auch die durch sie hindurch entweichenden Wasserdämpfe eine solche Hitze haben. Für so beträchtliche Temperaturen haben die Physiker noch keine Beobachtungen über die Elasticität der Wasserdämpfe angestellt, weil sie für die Gewerbe doch nutzlos sein müssten, indem kein Material für die Dauer eine so hohe Hitze und so mächtigen Druck, ohne zu zerspringen, aushalten würde. Bedenkt man aber, dass nach *Christian* bei 216 ° C. der Wasserdampf schon 39 Atmosphären Druck ausübt und nach *Clement* bei 650 ° C. = 4230 Atmosphären Druck das Gleichgewicht hält, d. h. eine Lavasäule von 63000 Fuss Höhe (also über 2 Meilen hoch) zu tragen im Stande ist, so können wir uns eine Vorstellung der ungeheueren Kraft machen, welche die durch die innere Erdwärme glühend gemachten Wasserdämpfe auszuüben vermögen.

Wahrscheinlich ist bei dieser hohen Hitze und der gleichzeitigen Gegenwart oxydationsfähiger Körper das Wasser theilweise zerlegt und neben den Wasserdämpfen Wasserstoffgas im freien Zustande vorhanden. Wenn sich dieses hocherhitzte Wasserstoffgas mit dem atmosphärischen Sauerstoffe verbindet, so müssen mit heftigen Umherschleuterungen verbundene Detonationen erfolgen.

In Wirklichkeit werfen denn auch die aus dem Krater entweichenden Dämpfe grosse, mehr als centnerschwere Bomben in 6000 bis 7000 Fuss und noch

Digitized by Google

grössern Entfernungen von dem Kratermunde fort, woraus man berechnet hat, dass sie, die fast senkrecht aufwärts getriebenen, mindestens eine Höhe von 4000 Fuss erreicht haben mussten. Im Jahre 1822 ward bei einem Ausbruch des Vesuvs sogar der ganze Aschenkegel, worin der Krater sich befand durch die gespannten Gase der Tiefe in die Höhe geworfen, worauf er als Aschenregen den hellen Mittag in Nacht umwandelnd, den Baumwuchs der näheren Landschaften zerstörte.

Man hat Beispiele, dass die ausgespieene Asche so hoch getrieben wurde, dass sie die oberen, die unteren oft mit kreuzender Bewegung schneidenden Luftschichten der Atmosphäre erreichten und von den hier herrschenden Winden in weite Entfernungen von 200 bis 300 Stunden entführt wurden.

Wie die Wasserdämpfe als grosse kugelförmige Ballen, die sich nach oben stets mehr und mehr ausbreitend, eine plattgedrückte Form annehmen und ein zauberisch schönes Schauspiel gewähren, haben wir bei Mittheilung der Beobachtungen *Hoffmann's* über den submarinen Ausbruch von Ferdinandea (S. 41) schon erfahren. — Sie stellen oberhalb der hohen Aschensäule eine mächtige Wolke dar, welche, da die Wasserverdunstung, wie man an Dampfmaschinen beobachten kann, Electricität entwickelt, von Blitz und Donner durchzuckt wird. (S. 44) — Die Form dieses Phäno-

Digitized by Google

mens haben die Italiener mit der ihre Aeste schirmförmig ausbreitenden Pinie verglichen. Aus der Wolke, welche das vulkanische Gewitter verdichtet, fällt nun unendlicher Regen herab; der Aschenkegel und die nahen Gegenden werden überfluthet; Schlammströme, welche im Stande sind, Städte zu begraben, bilden sich. So lange der Vulkan in solch' aufgeregter Thätigkeit ist, kann ihm kein Mensch nahen, es ist daher unmöglich direct die Zusammensetzung der elastischen Flüssigkeiten, welche er ausstösst, zu erfahren. Nach den Bestandtheilen des herabfallenden Regens jedoch vermag man auf jene Gase zu schliessen und die Gase der Fumarolen weisen ebenfalls darauf hin, was jene, dem Krater entströmenden enthalten mögen.

Im Regen aus der vulkanischen Wolke finden sich Salzsäure, schweflige Säure, in den Fumarolen-Gasen neben Wasserdampf, Stickstoff, Sauerstoff (also atmospärische Luft), Chlor, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Kohlensäure, schweflige Säure und Boraxsäure.

Die Gasexhalationen ändern ihre Natur mit der Zeit, indem die ersten während der Eruption aus dem Krater ausströmenden neben Kohlensäure, Wasserstoff nur Chlor und wenig schwefelhaltige Gase zu enthalten scheinen, verschwindet nach der Eruption sehr bald das Chlor; es bleiben nur Schwefelwasserstoff, daraus entstandene schweflige Säure und Kohlensäure, niemals mit Kohlenoxyd oder Kohlenwasserstoff gemengt; end-

Digitized by Google

lich dauert in den letzten Zeiten der vulkanischen Thätigkeit nur noch Kohlensäure aus.

Wann das Meerwasser in die glühenden Regionen der Erdrinde eindringt, so muss die Kieselerde der Gesteine die zugeführten Chlorüre von Natrium und Magnesium, schwefelsauren Magnesia- und Kalkerdesalze zerlegen. Es entstehen Verbindungen von Kieselerde mit Natron, Kalk und Magnesia, (Labrador, Feldspath, Augit, Olivin u. s. w.) während Chlor und Schwefelsäure frei werden. Bei der Gegenwart von Wasserstoff wird aus der Schwefelsäure, schweflige Säure und Wasser oder Schwefelwasserstoffgas und Wasser. — Die Kohlensäure wird entbunden aus kohlensauren Salzen (wahrscheinlich Kalkstein) auf die in Wärmegraden, welche 100° Cels. nahe kommen oder übersteigen Kieselerde, Chlor und Schwefelsäure einwirken. Die Entwicklung dieses Gases findet aber wahrscheinlich der Erdoberfläche näher bei geringerer Hitze statt, weil sonst aus der Einwirkung des Wasserstoffgases auf dasselbe Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoff entstehen müssten. Ueber die Wirkung der entwickelten vulkanischen Gase auf die Gesteine, werde ich im Verlaufe noch einiges nachbringen.

Die durch die Dämpfe herausgehobenen Massen sind entweder dichte oder schaumige, bimssteinartige, Lava oder endlich Lavastaub, der zuweilen bestimmte Gestalt annehmend als Augitkryställchen erscheint. Die

Digitized by Google

Quantität dieser Auswürflinge geht bei manchen Eruptionen ins Ungeheure; ganze Land- und Meerstriche werden mehrere Zoll, ja Fuss hoch mit der Asche bedeckt; es entstehen in wenigen Tagen hohe Kegelberge über den Kratern.

Untermeerische Lavaströme überfliessen im Meere abgesetzte Sedimentgesteine, Kalk- Sand- Thonlager mit eingehüllten thierischen und pflanzlichen Resten.

Auf den erkalteten Laven setzen sich in kurzer Zeit aufs Neue Anschwemmungen des Meeres, Korallen, Austernbänke u. s. w. ab, welche gelegentlich durch neue ausbrechende Lavaströme bedeckt werden. Auf diese Weise entstehen abwechselnde Schichten von Sedimenten und Laven, es entstanden so die zwischen Basalt eingeschlossenen Kalksteine, welche der verstorbene F. Hofmann auf seiner italienischen Reise im Val di Loddiero beobachtete. — Auch in den älteren und den ältesten Sedimenten begegnen wir solchen Lavalagern, welche mit Petrefacten führenden Schichten wechseln; ich erinnere nur an die Schaalstein- und Grünsteinlager der Grauwacke.

Die im Krater auf und abwogende, durch die entwickelten Gase und Dämpfe aufschäumen gemachte Lava durchfrisst endlich an einer Stelle den Aschenkegel oder sie dringt selbst an dem Krater ferneren Punkten am Fusse des Vulkanes, ja zuweilen wohl selbst jenseits Meeresarmen, wie z. B. der Lavastrom,

Digitized by Google

der 1730 bis 1736 Lancerota, eine der Canarischen Inseln, unfruchtbar machte, auf Spalten an die Oberfläche und fliesst, die Niederungen bedeckend, oft zu mächtigen Lagern zusammen. Der Lavaeruption geht, falls sie nicht aus dem Krater stattfindet, ein Schlacken- und Aschenauswurf, die Bildung eines kleinen (parasitischen) Aschenkegels vorher, oder der Berg spaltet sich und ergiesst die glühend flüssige Erde.

Die Lavasäule **Fig. 6.**, welche im Krater aufschäumt, übt einen Druck auf die Seitenwände des Aschenkegels aus, dem dieser auf der schwächsten Stelle weicht, oder sie drückt selbst so gewaltig gegen die Bedeckung schon längst durch die den vulkanischen Eruptionen vorausgehenden Erschütterungen vorbereiteter Spalten, dass sie solche hebt und entfernt. Auf beide Weisen treten Lavaströme aus den Spalten zu Tage. Sind die Krater so gelegen, dass ihren Fuss tiefe Meeresbecken berühren, oder erheben sie sich zu sehr bedeutenden Höhen mitten im festen Lande, so können die Lavaströme nicht aus den Kratern hervorbrechen, sie öffnen sich einen Weg unter dem Meeresniveau und bilden daselbst mit darauf abgelagerten Schlamm- und Kalkschichten abwechselnde Lagen.

Die Lava wird aus den Spalten zuweilen durch einen so starken Druck ausgepresst, dass sie in einen weiten Bogen fortschiesst, ehe sie den Boden erreicht. Sie ist roth- bis weissglühend und erreicht die Hitze

Digitized by Google

des schmelzenden Kupfers (900° — 1000° Cels.) bleibt aber unter der des schmelzenden Eisens. Da die Lava mit Gasen in Berührung war, wohl auch noch in ihr die Stoffe eingeschlossen sind, aus denen sich Chlor und schweflige Säure in der Glühhitze entbinden können, so entsteigen der Oberfläche des Lavastromes überall saure Dämpfe. Die Feuchtigkeit und Destillationsprodukte des überflutheten Grasbodens u. s. w. geben dazu Wasserdampf und Ammoniak her.

Die Lava erkaltet an ihrer der Atmosphäre zugekehrten Oberfläche rasch; der immer nachfliessende, heisse Strom hebt diese ersten in Schollen zerborstenen Massen auf, stösst sie fort, entledigt sich ihrer nach allen Seiten hin und da die Oberfläche immer aufs Neue erkaltet, so erscheint der Lavastrom wie ein zäher, sich fortwälzender Schlamm, welcher mit Schollen überdeckt ist. Die Schollen reiben sich mit klirrendem Geräusch aneinander. Auf steilen Gehängen bleibt dann natürlich nur dieses Schollenwerk liegen, während die flüssigeren Theile der Tiefe zueilend sich in Mulden und Thälern sammeln. Allmählig erhitzt die Lava den Boden und die neben sich geschobenen Schollen, welche ihr ein Bette anweissen, dergestalt, dass sie nur noch Hitze durch Ausstrahlung verliert; sie legt dann, besonders weil sie sich mit einer schlecht die Wärme leitenden Schichte bedeckt, weite Wege zurück. — Alles, was sie unterwegs von verbrennlichen Dingen antrifft, macht sie in Rauch und Flammen aufgehen;

Digitized by Google

sie zerstört Wälder und Wiesen, Städte der Menschen; dämmt Flüsse ab, hebt, wo sie unter horizontale Schichten sich einbohrt, ganze Gebirgsschichten auf, trägt sie fort oder schmilzt sie ein. Endlich; wenn nach Stunden, Wochen oder Monaten die Eruption ihrem Ende naht, oft viele Millionen Cubikfuss Lava ausgespieen, ganze Quadratflächen Landes damit bedeckt sind, erstarrt und erkaltet die Masse, wozu bei dicken Strömen oft viele Jahrzehnte Zeit aufgehen.

In der Region der Erde, aus welcher die sich ergiessende Lava emporsteigt, müssen Höhlungen entstehen, wenn nicht die aufruhenden Schichten alsbald nachsanken. Dieses Nachsinken wird aber und muss stattfinden, da in den Tiefen, wo die Lava schmilzt, die Gesteine im Allgemeinen im biegsamen Zustande sich befinden. Dadurch werden die Einsenkungen am Fusse der Vulkane, welche bei den der ersten Eruption vorausgegangenen Auftreibungen des Bodens die erste Anlage zur Muldenbildung angedeutet haben, zu nehmen.

Hieraus ergiebt sich, da die nach innen gekehrte Wölbung der Mulden dem Entstehen neuer Vulkane ein bedeutendes Hinterniss entgegenstellt, an den Mulden-Rändern aber die Bildung von Spalten sehr begünstigt wird, ein allgemeines Gesetz für die Stellung der Vulkane auf der Erdoberfläche: nämlich das, *dass sie am Rande grosser Meeresbecken in mehr oder weniger*

Digitized by Google

geschlossenen Kreisbogen aneinander gereiht sein werden. — Es ist ganz diesem Gesetze und dem, dass die schwächsten Punkte eines Gefässes zuerst dem Drucke der in seinem Inneren expandirten Gase nachgeben, angemessen, dass die Vulkane häufiger auf Inseln und an Küstenstrichen, als im Innern der grossen Festländer angetroffen werden.

Wie die beiliegende Karte **Fig. 7** zeigt, stehen die meisten Vulkane auf den Inseln und an den Küstenstrichen der gewaltigsten Einsenkung unserer Erde, des stillen Meeres, während auf der grossen Fläche Asias nur ganz wenige bekannt sind. — Die Anzahl der um das stille Meer liegenden noch thätigen Vulkane beläuft sich auf mehr als 140, wovon beinahe sechszig auf Amerika, ebensoviele auf Oceanien und zwanzig und einige auf die Inseln um Asien und auf Camtschatca kommen.

Die Anzahl sämmtlicher noch thätiger Vulkane auf der Erde schätzt man auf 160—170.

Ausgegangene Vulkane treffen wir an vielen Punkten der Erde; sie mussten ausser Thätigkeit gesetzt werden, sobald die in der Tiefe entwickelten Gase und Dämpfe einen kürzeren, näheren Ausgang erzwangen. Die Vulkane auf dem Festlande erloschen daher, nachdem sich eine neue Verbindung des Erdinneren mit der Atmosphäre an der Küste oder an geeigneten Stellen im Meere gebildet hatten.

Digitized by Google

Wenn man genaue Karten über die Verbreitung des Basaltes, Dolerites und der verwandten Gesteine, über Melaphir und Grünstein besässe und die Vorkommen einer jeden dieser Eruptivmassen durch Linien verbände, würde man vielleicht eben solche Kreisbogen erhalten, wie wir sie in **Fig. 7** für die Vulkane der Südsee gefunden haben.

Die Basalte und Vulkane der Ardeche, des Lyonais-Gebirges, der Eifel, des Westerwaldes, Vogelsberges, der Rhön von Böhmen und Ungarn stehen wirklich in einem solchen Kreisbogen.

Sobald die Lava, welche den Dämpfen und Gasen den Ausgang versperrte oder erschwerte, ausgepresst ist, entwickeln sich nur noch Wasserdämpfe und Gase aus der Krateröffnung. Fallen wieder Steinmassen in den Kratermund hinab, verstopft er sich dadurch bis auf einen gewissen Grad, so treibt eine kleinere oder grössere Eruption diese Hindernisse wieder aufwärts; es erfolgt eine kleine Erschütterung mit Aschen- und Lava-Auswurf.

Wenn die unterirdischen Dämpfe einen kürzeren Weg finden, so lassen die vulkanischen Erscheinungen allmählig nach; es strömt nur noch heisser Dampf mit Schwefelwasserstoff, schwefliger Säure, Kohlensäure beladen aus Spalten des durch die frühere Thätigkeit des Vulkanes erzeugten Gesteines.

Digitized by Google

Begegnen den ausströmenden Dämpfen und Gasen Wasser oder Schlamm, so entstehen sogenannte Salsen (Schlammvulkane), Geiser, Fumarolen, Mofeten, Thermen.

In den Felsgesteinen der Anten Südamerika's sind unterirdische, mit Wasser erfüllte Höhlungen, in welchen ausser Infussionsthierchen eine eigenthümliche zu den Welsen gehörende Fischart, Pimelodes Cyclopum oder Prennadillas, lebt.

Bei Ausbrüchen der Vulkane werden die Wände dieser Wasserreservoire zuweilen durchbrochen, eine unglaubliche Menge stinkenden an der Luft bald erhärtenden Schlammes, mit zahllosen Prennadilla's erfüllt, entstürzt den Spalten und bildet, Thäler erfüllend, neue Gebirgsschichten. Die Verheerungen, welche durch den Ausbruch dieser Schlammmassen — der Moya — angerichtet werden, sind oft sehr bedeutend. Städte und Dörfer werden verschüttet, Flüsse zu Seen aufgestaut.

C. Salsen (Schlammvulkane) Geiser und Thermen.

Ueberall, wo die vulkanischen oder die auf irgend eine andere Weise in der Erde entbundenen Gase trachytische, pyroxenische, sandige oder thonige Sedimentgesteine angreifen, entstehen zähe Schlammmassen. Sobald Wasser aus der Atmosphäre dazu tritt, verstopfen sich die Gasausgänge, die Gase häufen sich

Digitized by Google

an, spannen sich und schleudern endlich mit Heftigkeit und platzendem Geräusche das Hinderniss hinweg. Die zurückfallenden Schlammtheile häufen sich in Kegelform rings um die Oeffnung, aus der das Gas entweicht, an. In der Mitte dieser Kegel bildet sich eine trichterförmige Vertiefung (ein Krater), in welchem sich der Kampf der aufsteigenden Gase mit dem abwärts sinkenden oder mit heraufgehobenen Schlamme stets erneuert. Eine Vorstellung von den Hargängen in den Salsen kann man sich durch Ansicht der trocknenden, nassen Thonschlämmen in den Porzellanmanufacturen in den ersten Zeiten ihres Verweilens auf dem Trockenheerde verschaffen. Hier ist die schlammige Substanz durch Erwärmung beweglicher geworden; das Wasser wird an der Oberfläche der Heerdplatten in Dampf umgewandelt, sucht zu entweichen, treibt die hindernde Thonmasse zu einer Blase auf und zersprengt sie endlich, wobei ein kleiner Krater entsteht, dem umherspritzende Stücke entfliegen.

Die Salsen werden nicht allein durch vulkanische Gasausströmungen hervorgebracht, sondern entstehen auch öfters da, wo in Folge des Gährungsprozesses in den Erdschichten begrabene, organische Wesen Gase entwickeln. Die letzteren Gase sind in der Regel brennbare (Kohlenwasserstoff) und finden sich im Gefolge von Naphtaquellen, namentlich sehr entwickelt in Oberitalien und in der Umgebung des kaspischen Meeres.

Digitized by Google

Die Salsen, welche mit noch brennenden Vulkanen als die nächste Nachwirkung einer Eruption im Zusammenhange stehen und in deren Nähe vorkommen werden in Italien *Suffionen, Fumarolen, Mofeten, Solfataren* genannt, welche Bezeichnungen allgemein gebräuchlich geworden sind.

Bunsen beschreibt in seiner Abhandlung über den inneren Zusammenhang der pseudovulkanischen Erscheinungen Islands die Solfataren oder Námar von Krisuvik und Reykjahlid folgender Maassen:

„Exhalationen von schwefliger Säure, Schwefelwasserstoff, Schwefel- und Wasserdampf durchbrechen hier in wilder Unordnung den heissen Boden und breiten sich weithin über die dampfenden Schwefelfelder aus, welche in Folge der Zersetzung des Palagonites*) und jener Gase unter einander in steter Fortbildung begriffen ist. Die Gas- und Dampferuptionen nehmen auf diesen Flächen, deren trügerische Schwefel- und Thondecke der Beobachter nur mit Vorsicht betreten darf, um nicht in den heissen

*) Ein aus der Verwandlung der Lava und des Basaltes entstehendes harzbraunes, wachsglänzendes, wasserhaltiges Silikat, dessen secundäre Bildung nachgewiesen ist durch die in ihm durch *Bunsen* aufgefundenen Panzer von Infusorien und Diatomeen.

Digitized by Google

Schlamm zu versinken, den verschiedenartigsten Charakter an. An den Gehängen der Berge, wo ein festeres Lava- oder Trappgestein ihrer weiteren Ausbreitung eine Schranke entgegensetzt, dringen sie aus Klüften und Gesteinspalten in Gestalt mächtiger Dampfstrahlen brausend und zischend, oder, wenn der Schall an den Vorsprüngen unterirdischer Höhlungen sich bricht, mit wahrhaft brüllendem Getöse hervor. Wo sich dagegen das Quellensystem mehr nach der Thalsohle in dem lockern Tuffgebilde hinabzieht, gewahrt man siedende Schlammpfuhle, in denen ein wiederlich blauschwarzer Thonbrei zu ungeheueren Blasen sich auftreibt, die bei ihrem Zerplatzen den kochendheissen Schlamm oft an fünfzehn Fuss hoch emporschleudern, und in kraterartigen Wällen um die Quellenbassins aufhäufen. Alle diese Erscheinungen bilden in ihrer Gesammtheit ein Bild der wildesten Verwüstung, das an schauerlicher Oede nur von der finstern Gebirgsnatur übertroffen wird, welche diese Scenen umgiebt."

Bunsen erwähnt, dass durch die Einwirkung des Schwefelwasserstoffes und des Sauerstoffes der Atmosphäreluft auf das Kalksilikat des Palogonites in diesen Fumarolen-Thonen *Gyps* entsteht; dass dieses Mineral sich sowohl in einzelnen Krystallen, als auch in *zusammenhängenden Schichten* und *stockförmigen Einlagerungen* bildet, welche da, wo das lockere Gebirge durch Was-

Digitized by Google

sereinwirkung fortgespült ist, in kleinen Felsen anstehen.

Die Fumarolenthone werden dadurch den gypsführenden Mergel- und Thonablagerungen mancher älteren Gesteine sehr ähnlich.

Da sich die Gypslager mitten im feuchten Thonschlamme entwickeln; da sie wachsend, aus der weit unter dem Sättigungspunkte stehenden Solution allmählig Raum einnehmende, Druck auf die neben- und überliegenden Massen ausübende Theile um sich versammeln: so tritt hier „die Krystallbildung in den Kreis der mechanischen Kräfte."

Auch Schwefelkies entsteht, wie *Bunsen* beobachtete, in diesen Thonen durch die Wirkung des Schwefelwasserstoffes auf den Eisenoxydulgehalt des Palagonites.

Diejenigen Fumarolen, welche vorzugsweise schwefelhaltige Gase ausgeben und desshalb Schwefelkrusten bilden, werden Solfataren genannt, sie sind die Erzeugungsstätte eines grossen Theiles des in den Handel kommenden Schwefels.

Nicht alle Dampf- und Gasexhalationen sind mit Schlammauswürfen verbunden, manche treten mit zischendem oder erschütterndem Geräusche aus Spalten des Gesteines, oder mit brodelndem Getöse aus flachen Wasserpfuhlen, andere sind tiefer in der Erde mit

Digitized by Google

Wasser gemischt den Mineralquellen eigen. In der Regel sind diese Quellen durch Wärmegrade, welche die mittlere Temperatur des Ortes, an welchem sie entsteigen, übertreffen, ausgezeichnet.

Die Dampfausströmungen sind, wo sie in wasserreichem Boden durch Zerlegung der Silikate Kieselsinterbildungen veranlassen können, zuweilen mit periodischen heissen Quellen, *Geisern* verbunden.

Island ist seiner ausgezeichneten Geiser wegen berühmt. *Bunsen* hat das Verdienst, den Hergang bei den Eruptionen der Geiser genau ermittelt zu haben.

In palagonitischen und phonolitischen Gesteinen ist der Heerd der Geiser Bildung; durch die Mitwirkung der Kohlensäure und des Schwefelwasserstoffs, wie wir unten im Zusammenhange weiter nachweisen wollen, können heisse Wasserdämpfe die palagonitischen Tuffe und den Klingstein zerlegen, es können kieselhaltige Quellen entstehen, welche um ihren Ursprungsort Kegel (Krater) von Kieselsinter aufbauen.*)

„Diese Geisir tragen nie den schauerlichen, unheimlichen Charakter jener wilden Verwüstung an sich, der sich in den Fumarolen und Salfatoren mit ihren kochenden Schlammpfuhlen und dampfenden Schwefelfeldern ausspricht.

---

*) R. Bunsen über den inneren Zusammenhang der pseudovulkanischen Erscheinungen Islands.

Digitized by Google

Das Auge ruht vielmehr mit Wohlgefallen auf den weissen Ueberrindungen und Stalaktiten, die sich bald in der Form eines kleinen Kraterkonus erheben, bald zu länglichen Wannen und grossen Becken, bald zu runden Schächten von bewunderungswürdiger Regelmässigkeit gestalten."

Das Geisirwasser enthält 0,51 proCent Kieselerde, welche von ihm erst bei gänzlicher Verdunstung als ein weisser Sinter abgesetzt wird. Dadurch ist die Bildung der Geiserröhre bedingt, denn es kann sich nur da, wo das durch Kappilarität an den Rändern der Quelle aufgesogene Wasser gänzlich verdunstet, ein Sinterabsatz bilden, während der Quellspiegel ganz frei davon bleiben muss. Es wid also vorerst um eine solche Quelle ein Sinterring entstehen, welcher stets an Breite und Höhe gewinnend, endlich zu einem Kegel anwächst, in dessen Mitte eine engere oder weitere Oeffnung für das ausströmende Wasser bleibt.

Sobald diese Röhre eine bestimmte Länge erreicht hat, wird durch die vulkanische Hitze das Wasser an ihrem Bodem dem Drucke proportional zu einen höheren als der dem Atmosphärdrucke entsprechenden Wärmepunkte gebracht und da die erwärmten Schichten stets in der Röhre aufwärts steigen, so kommen sie, die über 100° erwärmt sind, an einem Punkte der Röhre an, wo sie die über 100° besitzende Wärme rasch zu Dampfbildung verwenden müssen. Die ent-

Digitized by Google

wickelten Dampfbläschen steigen dann mit Heftigkeit empor und reissen Wasser mechanisch mit, wodurch die zahlreichen Sprudelpuellen Islands entstehen. Wenn aber die Geiserröhre eine so grosse Weite hat, dass neben dem aufsteigenden erwärmten Wasser, an der Oberfläche des Bassins erkaltetes, abwärts sinken kann, so entstehen die periodischen Quellen.

Nach einer Eruption steigt das in die Tiefe hinabgesunkene Wasser in der 75 Fuss tiefen 12 Fuss weiten Röhre des grossen Geisers allmählig in die Höhe und rinnt als kleine Kaskade ruhig über den Konus ab. Allmählig erhitzt sich das Wasser von unten durch zutretenden Dampf, welcher sich condensirt; oben abgekühltes Wasser sinkt dagegen an den Rändern der Röhre der Tiefe zu. Auf den Mittelpunkt des Geiserspiegels geworfene Papierblättchen werden von den nach abwärts strebenden, erkalteten Wassertheilen nach dem Rande und von da an den Wänden hin mit in die Tiefe genommen; es findet also ein Kreislauf des Wassers in der Röhre in der Weise statt, dass das erhitzte Wasser in der Mitte aufsteigt, während das erkaltete am Umfange der Säule abwärts fliesst.

Die Temperatur des Wassers nimmt während dessen beständig zu, und die dem Boden des Geiserrohres näheren Wasserschichten erhitzen sich dem auf ihnen ruhenden Drucke proportional, so dass die tiefsten 127° bis 128° warm werden, während die 59 Fuss höher

Digitized by Google

stehenden nur eine Temperatur von 85° bis 86° haben. Das Wasser erreicht aber selbst bis kurz vor einer Eruption nirgends den Wärmepunkt, auf welchem es unter dem jedesmaligen Druck sieden müsste. Nur etwa in der halben Höhe der Säule wird dieser Kochpunkt des Wassers *nahe* erreicht. Wenn nun durch irgend eine Veranlassung z. B. durch eine aufsteigende Gasblase die obere Hälfte der Wassersäule um etwas gehoben, dadurch der Druck auf die mittlere Wasserschicht, welche dem Kochpunkte nahe ist, gemindert wird, so geräth diese Schicht ins Sieden und die aus ihr entwickelten Dämpfe treiben die obern Wassermassen aus dem Rohre heraus.

Auch die untern, für den gewöhnlichen Druck der Atmosphäre über den Siedepunkt weit hinaus erhitzten Wassermassen verwandeln sich nun rasch in Dampf und schleudern die zurückfallende Wassermasse wieder empor, welches Spiel so lange dauert, bis alles Wasser des Rohres wieder unter den Kochpunkt erkaltet ist.

Die Veranlassung zur Hebung der obern Hälfte der Wassersäule liegt in der Eigenthümlichkeit der Geiser von Zeit zu Zeit Dampfblasen zu entwickeln, welche emporwallend die oberen Schichten der Säule heben. Je wärmer das Wasser wird, desto öfter wiederholt sich diese Blasenentwickelung, welche mit Detonation verbunden ist, bis sie sich zu einem grossen Ausbruche steigert. Es liegt also die hebende Kraft

Digitized by Google

in dem Geiserrohre und keineswegs, wie man geglaubt hat, in unterirdischen Dampfkesseln.

Der grosse Geiser wirft Wassermassen von mehr als 30 Fuss Umfang in Höhen von mehr als 100 Fuss. Dichtgeballte Dampfwolken umgeben diese riesige Säule und in schnellem Wechsel breitet auf den herabfallenden Tropfen der gebrochene Lichtstrahl seine Farbenpracht aus.

Nachdem das Geiserrohr, dessen Höhe stets wächst, so lange Wasser aus seiner obern Mündung ausfliesst, eine Höhe erreicht hat, wodurch das Verhältniss der den Boden drückenden Wassersäule und der von da ausgehenden Erhitzung ein anderes geworden ist, endigt die Geiserthätigkeit; die Quelle fliesst entweder ruhig über oder sucht sich dem starken Drucke weichend eine bequemere Ausflussöffnung, an welcher dann das Spiel von neuem beginnt.

Die Thermen werden, wie die Geiser, durch aus dem Erdinnern aufsteigende warme Dämpfe erhitzt und in manchen Fällen durch aufwärts steigende Gasströme in den Spalten aufwärts gehoben.

Wenn mitten in einem See dem Boden ein Strahl erwärmten Wassers entsteigt, so werden die leichtern erwärmten Wassertheile nach oben strebend sich mitten durch die ruhenden kältern Schichten des Seewassers Bahn brechen. Eben so wird eine *Therme* sich in den

Digitized by Google

mit Wasser erfüllten Steinschichten, der Erdoberfläche entgegen heben. Kommen noch Gase der Wärme zu Hülfe, so müssen übersprudelnde Gasquellen und können intermittirende Quellen entstehen.

Wenn z. B. Kohlensäure an das Wasser gebunden ist, so wird solche frei, sobald das Wasser sich soweit der Oberfläche nähert, dass der Druck der aufruhenden Wassersäule die Entbindung des Gases nicht mehr zu verhindern vermag. Jede Perle des entweichenden Gases hebt eine kleine Wassermenge mit heraus und es findet ein Aufschäumen der Quelle statt, wie das bei den heissen Springquellen Islands durch Wasserdampf hervorgebrachte.

In den *Soolsprudeln* zu *Nauheim*, welche man durch die Kunst der Brunnenbohrung der Erde abgewonnen hat, sind die Verhältnisse der Quellenbildung durch aufsteigende Kohlensäure sehr schön zu beobachten.

Dies Wasser enthält soviel Kohlensäure beigemengt, dass bei gewöhnlichem Atmosphärendruck mit ihm zwei Volum derselben entweichen, ein Volum dieser Säure muss schon frei werden, sobald der auf dem Wasser aufruhende Druck sich vermindert.

Dr. *Bromeis* hat durch einige Versuchsreihen *) entwickelt, dass bei der Temperatur von 32,5 ° Cels.,

*) Ueber die äussern und innern Verhältnisse der gasreichen Thermen zu Nauheim. Marburg 1851.

Digitized by Google

wie solche den Nauheimer Quellen eigen ist, die Tension der diesem Wasser beigemengten Kohlensäuremenge und des Wasserdampfes = 2,951 Atmosphären ist. Da nun das Gas- und Wassergemisch nur etwa halb so schwer, als gewöhnliches Wasser ist, so gehört zur Hervorbringung eines Druckes von 2,951 Atmosphäre (eine Atmosphäre Luftdruck abgerechnet) eine solche aus Wasser und Gas gemischte Säule von etwa 100 Fuss Höhe. Bei 100′ Tiefe wird also in den Bohrlöchern die Entbindung der Kohlensäure aus dem Wasser beginnen, und da die Gasblasen in einem engen Rohre aufzusteigen genöthigt sind, so nehmen sie die an ihnen klebenden Wassertheilchen mit sich aufwärts und lassen sie erst gehen, nachdem sie in der freien Luft zerplatzen. Es ist dieses derselbe Hergang, wie bei einer entkorkten Champagnerflasche. Nachdem der durch den Kork und dessen Eisenband veranlasste Druck auf die aus Gas und Wein bestehende Flüssigkeit nachgelassen, entbindet sich Gas, entweicht rasch und treibt den Schaum im Bogen aus dem Flaschenhalse. — Sind die Oeffnungen der Bohrlöcher zu weit, so steigt das Wasser nicht in ihnen empor, weil sich dann die Kohlensäure an dem grösseren Wasserspiegel leichter entwickeln kann. Verstopft man die engen Borröhren, so sinkt das Wasser in ihnen ebenfalls bis zu derjenigen Tiefe zurück, bis zu welcher es durch den hydrostatischen Druck geschoben wird, und die Soole kann erst durch Anwendung einiger Pumpenzüge,

Digitized by Google

melt hat, dass sie das Bohrloch erfüllend, an dessen oberm Ende austreten und überfliessen kann. Es entwickelt sich dann schnell Kohlensäure, welche den Druck im Bohrloch vermindernd in den obern Theilen der Röhre gewissermassen saugend wirkt und das vorhandene Wasser rasch entfernt; worauf wieder eine Periode der Ruhe eintritt, die um so länger anhält, je heftiger der Ausbruch war.

Wenn man das Bohrloch in seinen oberen Theilen verengt, also den Ausfluss mit dem Zufluss ins Gleichgewicht bringt, so hört das periodische Ausströmen auf, die Quelle fliesst ruhig über.

Bei andern Fällen ist aber das Vorhandensein eines Gasbehälters am untern Ende des Bohrloches nicht zu verkennen. In solchen Fällen entsteht die Intermittenz der Quelle durch den heronsballartigen Bau der Bohrlochswände.

Bei vielen Thermen mag das aus der Tiefe heraufkommende erwärmte Gas die Temperatur des von oben herab einsickernden Wassers bedingen.

Die im Erdinnern entwickelte *Gase* folgen bei den *vulkanischen Eruptionen* in einer gewissen Reihenfolge aufeinander, zuerst entweichen *Chlor* und *Wasserstoff* mit dem *Wasserdampfe*, dem auch Kohlensäure und Schwefelwasserstoff beigemischt ist. Ob Kohlenwasserstoffgas oder Kohlenoxydgas den ersten vulkanischen Luftarten zugesellt ist, bedarf noch der Untersuchung.

Digitized by Google

Sie könnten entstehen aus der Einwirkung des Wasserstoffs auf die glühende Kohlensäure.

Diese ersten aus feurigen glühendheissen Regionen abstammenden Gase gehen hervor aus der Zersetzung des Meerwassers durch Kieselerde. Glühende Kieselerde verbindet sich mit den Alkalien des Meerwassers, zersetzt dabei einen Antheil Wasser in seine Elemente, von denen der Sauerstoff alsbald verbraucht wird und macht Chlor, Wasserstoff und Schwefel frei. Je nachdem mehr oder weniger Wasser zerlegt worden, verwandelt sich die Schwefelsäure des Meerwassers in schweflige Säure oder in Schwefelwasserstoff; das Chlor in Salzsäure. — Die Kohlensäure scheint in der Erdoberfläche näheren Regionen erzeugt zu werden.

Mit diesen chlorhaltigen Exhalationen sind stets Seblimationen von Chlormetallen verbunden, welche hier und da durch Schwefeldämpfe umgewandelt erscheinen. Auswürfe von Kochsalz (Chlornatrium) durch Vulkane deuten an, dass in gewissen Regionen der Erdrinde das Meerwasser verdampft und dessen Salzgehalt unzerlegt abgeschieden werden könne.

Sinkt die vulkanische Thätigkeit in grössere Tiefe zurück, so hört die Salzsäureentwicklung auf, sie geht wohl in der Tiefe immerwährend von Statten, die entbundene Salzsäure erreicht aber die Erdoberfläche nicht, sondern wird in den kältern Schichten durch die alkalischen, erdigen und metalloxydischen Basen der Ge-

Digitized by Google

steine vollkommen absorbirt. — Die Produkte dieser Prozesse, die Chlorüre, finden wir in den Mineralwassern, welche in der Nähe der Vulkane aber auch an vielen andern Orten entspringen.

Durch die heissen Wasserdämpfe, die Salzsäure und schweflige Säure werden, die basischen Kieselverbindungen der Eruptionsgesteine, Labrador und Augit rasch angegriffen und zersetzt; es scheiden sich dadurch saure Silikate, Kieselerde und Thonerde aus. Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorkalzium und Chlormagnesium, schwefelsaure Salze von Natron, Kalk u. s. w. sind die in Wasser löslichen Produkte dieser Einwirkung.

Treten die sauren Dämpfe bis in die Sedimente herauf, erreichen sie kohlensaure Kalkschichten, so müssen Kohlensäurentwicklung und Bildung von Chlorkalzium die Folgen sein.*)

Es ist hier sohin ebenfalls ein Kreislauf der Stoffe, wie überall in der Natur sichtbar. Ohne diesen Kreislauf würde auch schon längst das vorhandene Material vernutzt sein, durch ihn aber wird die ewige Jugendkraft der Erde erhalten.

Wenn kiesel- und thonhaltige Schichten, es mögen nun Sedimente oder zersetzte Eruptionsmassen sein,

*) R. Ludwig über die geognostischen Verhältnisse Nauheims in der Schrift von Dr. Bode über die Nauheimer Heilquellen, II. Auflage.

Digitized by Google

durch die Faltungen der Erdrinde dem heissen Erdkerne näher gerückt werden, so vermögen sie in der Glühhitze das eindringende Chlornatrium u. s. w. des Meerwassers zu zerlegen. Es bilden sich dabei vielleicht aus Thonschiefer und Sandstein labrador- und feldspathhaltige Gesteine auf dieselbe Weise, wie in einem Schmelzofen aus Töpferthon und eingeseihtem Kali ein labradorähnliches Mineral entstand*). Es erzeugen sich Laven, Pyroxen und Trachytmassen, je nachdem die einwirkenden Gesteine mehr oder weniger Kiesel, Thonerde, Eisen- und Manganoxyde enthalten.

Da durch die Aufnahme der Alkalien die Thonschiefer und Schieferthone an Substanz gewinnen und daher einen grössern Raum als vorher einnehmen, so müssen sie die über ihnen liegenden Schichten allmählig heben. Auf diese Weise erklärt sich vielleicht die stetige und langsame Hebung ganzer Landstrecken, wie die der Küsten Norwegens und einzelner Erdstücke, wie das der Inseln im Meerbusen Santorin, welche den eigentlichen vulkanischen Erscheinungen vorausgehen.

---

*) In dem Fundamente eines Smalteglasschmelzofens zu Schwarzenfels fand ich eine aus krystallinischen Theilchen bestehende Substanz, welche sich erzeugt hatte indem Smalteglas, kieselsaures Kobaltoxydul-Kali, mit einem Stücke Koblenzer Thon in starker Rothglühhitze in Berührung gekommen war. Die Verbindung entspricht einem Labrador, dessen Kalkgehalt durch Kobaltoxydul vertreten ist.

Digitized by Google

Die bei diesen Hergängen abgeschiedenen und entwickelten Säuren entweichen nach oben, durchziehen alle kältere Schichten der Erde, bilden darin durch Umwandlung der an die Erdoberfläche geförderten Eruptionsgesteine neue Thon- und Kieselmassen, eignen sich die auflöslichen Theile aller Gesteine an, geben dem Wasser auf's Neue Chlorsalze, schwefelsaure und kohlensaure Verbindungen, welche in's Meer zurückgeführt, wiederum der Tiefe zusinken um abermals den Kreislauf zu vollenden, oder welche durch ihre Auflösung dem Pflanzen- und Thierleibe zugänglich gemacht von diesem zu neuen Formen verwendet werden.

Nachdem die Salzsäureentwicklung sich der Tiefe zugesenkt hat; nachdem durch die Eruption abgekühlt die vulkanische Hitze gemässigter geworden; sehen wir Jahrhunderte hindurch aus dem Solfataren neben dem Wasserdampfe, schweflige Säure, Schwefelwasserstoff, Wasserstoff und Kohlensäure entweichen.

*Bunsen**) hat durch seine Versuche mit hellem Licht das Dunkel dieser Hergänge aufgeklärt. Er fand, dass in der Glühhitze Schwefeldampf über Basalt (Pyroxengestein) geleitet auf Kosten des Eisenoxydules des Gesteins zu schwefliger Säure verbrenne, während sich das reduzirte Eisen mit Schwefel verbindet. —

*) Ueber die Prozesse der vulkanischen Gesteinsbildung Islands, Poggendorfs Annalen Band 83. S. 253 u. s. w.

Digitized by Google

Dass solche Prozesse in der Natur vor sich gehen, zeigen die mit dem Gestein verflösten Einschlüsse von Magnetkies, im Basalte von Fauerbach in der Wetterau.

Wird über das solcher Weise mit Schwefeleisen imprägnirte Gestein bei angehender Glühhitze (also bei geringerer Hitze) Wasserdampf geführt, so entsteht Eisenoxyduloxyd und es entweicht Schwefelwasserstoff, der bei etwas gesteigerterer Temperatur zu Schwefeldampf und Wasserstoff zerlegt wird.

Da durch die Faltung der Erdoberfläche Schwefelmetalle, den Sedimenten beigemengt, als Produkt der Verwesung von Pflanzen und Thieren oder als Erzeugniss der Fumarolenthätigkeit in die glühenden Regionen der Erde gelangen können, so müssen auch Schwefelsublimationen in den kältern obern Erdschichten angesammelt werden und gleichzeitig schwefligsaure Dämpfe entweichen.

Diese schwefligsauren Gase verbrennen bei grosser Vertheilung in den der sauerstoffhaltigen Atmosphäre näheren Schichten zu Schwefelsäure und veranlassen die Bildung von schwefelsauren Salzen, als: Gyps, Vitriole, schwefelsaure Natron-, Kali-, Bittererde- und Thonerdesalze, welche dem Fumarolen-Thone beigemengt sind oder Lager in ihm zusammensetzen. Folgt bei noch weiterer Abkühlung der Schichten der schwefligen Säure-Entwicklung die des Schwefelwasserstoffs, des Schwefeldampfes und Wasserstoffs, so ent-

Digitized by Google

stehen aus Eisenoxydhydrat und Schwefelwasserstoff, Schwefelkies, aus andern Metalloxyden und Schwefelwasserstoff andre Schwefelmetalle. Ein Theil des entwickelten Schwefelwasserstoffes verbrennt zu Schwefelsäure; wodurch auch in dieser Periode der Fumarolenthätigkeit fortwährend noch schwefelsaure Salze gebildet werden. Gleichzeitig scheidet sich Schwefel in Substanz aus.

Sinkt die schweflige Säure- und Schwefelwasserstoffreaction allmählig in grössere Tiefe oder sind die sie veranlassenden Stoffe grösstentheils vernutzt, so beginnt, nachdem die stärkeren Säuren in dem von ihnen durchtränkten Boden neutralisirt sind, die schwächere Kohlensäure ihre Wirksamkeit. Es entstehen aus ihrer Einwirkung auf die alkalischen Silikaten der Gesteine kohlensaure Alkalien, welche die unlösliche Modification der Kieselerde in Wasser löslich machen und dadurch Opal, Hornstein, Kieselsinter u. s. w. selbst Quarz und Bergkrystall erzeugen. Sie bildet doppelt kohlensauren Kalk, welcher in Wasser aufgelösst durch das Leben der Pflanzen und Thiere als Kalkstein wieder abgeschieden wird; sie vermittelt noch viele andere Umbildungen.

Die aus dem Vulkanismus hervorgehende Kohlensäure kann gewonnen werden aus den in den Erdschichten abgesetzten kohlensauren Salzen, vornehmlich dem kohlensauren Kalke und der kohlensauren Mag-

Digitized by Google

nesia, oder sie entsteht durch langsame vollständige Verbrennung (Verwesung) der kohlenstoffhaltigen Schichten.

Wir haben oben gesehen, wie an dem Heerde der Vulkane d. h. in den glühend flüssigen Regionen der Erdrinde, durch Zersetzung des gesalzenen Wassers, Chlorwasserstoffsäure und schweflige Säure flüchtig wird, wie diese in die kälteren Erdlagen sublimirt, die kohlensauren Erdsalze unter Abscheidung der Kohlensäure zersetzen. Die genannten stärkeren Säuren finden diese kohlensauren Salze entweder als Gebirgslagen, als Produkte des Thier- und Pflanzenlebens oder als Erzeugnisse der chemischen Wirkung der Kohlensäure auf die kalkhaltigen Silikate, als krystallinische Kalke, sogar in der wässerigen Lösung als doppelt-kohlensaure Kalkerde.

Aber nicht allein die vulkanischen Gase, sondern auch noch eine andere Substanz, die Kieselerde, in Wasser aufgelösst oder im festen Zustande vermag die Kohlensäure unter Mitwirkung der Wärme auszutreiben. Schon im Hitzegrade, welche dem Siedepunkt des Wassers (100 ° Cels) nahe kommen, verbindet sich die Kieselerde mit der Kalkerde, wobei Kohlensäure ausgeschieden wird. Es ist sohin in hohem Grade wahrscheinlich, dass ein grosser Theil der überall der Erde entquellenden Kohlensäure durch die gegenseitige Einwirkung dieser Stoffe, welche theils in Wasser gelösst, theils in fester Form sich begegnen, erzeugt wird.

Digitized by Google

In der Nähe der Feuerberge wird die Entbindung der Kohlensäure noch besonders begünstigt durch die den obern Erdschichten näher gerückte innere Wärme, aber auch an jedem Punkte der Erde, an welchem, durch die Faltung der Erdoberfläche kohlensaure Kalklagen tief herabgesenkt, dem wärmern Erdkerne sich genähert haben, muss die Entwicklung dieser Säure ebenso gut von Statten gehen. Ihre Entbindung ist eine überall hin verbreitete Erscheinung. Die Kohlensäure tritt an jedem Punkte aus, wo in die Tiefe reichende Spalten oder steil aufgerichtete Schichtungsflächen ihren Ausfluss möglich machen.

Diese durch die Erdwärme frei gemachte Kohlensäure dient eines Theils als mächtiges Reagens bei der Metamorphose der Gesteine, indem sie bei gewöhnlicher Temperatur die Silikate zersetzt, andern Theils ist sie den Pflanzen ein Nahrungsbedürfniss. Die Pflanzen nehmen sie vermittelst ihrer Blätter auf, zerlegen sie in Kohlenstoff und Sauerstoff und produciren dadurch wieder zwei mächtige Hebel der Gesteinsmetamorphose und die nothwendigste Bedingung des thierischen Lebens.

Das Thier, dem die Kohlen-Wasser-Stickstoffverbindungen der Pflanze zur Nahrung und der Sauerstoff der Atmosphäre als Wärmeerreger dienen, giebt durch seine innerliche Verbrennung (den Athmungsprozess) dem Luftkreise sohin dem Pflanzen- und Erdleben die Kohlensäure zurück.

Digitized by Google

Nicht weniger können aber auch Kohlensäure, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffgas hervorgehen aus der Einwirkung des hoch erhitzten Wasserdampfes auf Kohlenlager kohligbituminöse Schichten, aus der Verbrennung solcher Lagen durch die Hitze der tiefen Erdschichten.

Auch hier begegnen wir wieder dem Kreislaufe der Stoffe, durch dessen Anordnung dem Weltall immerwährender Bestand verliehen ist.

Am Schlusse dieser Betrachtungen angelangt, wollen wir kurz wiederholen, worin die Wirkungen der inneren Erdwärme auf die Gesteinarten und den Bau der Erde bestehen.

Sobald den tiefern glühenden Schichten des Erdsphäroides Wasser und darin aufgelöste salzsaure und schwefelsaure Salze zufliesst, werden Dämpfe, Chlor und schweflige Säure entbunden.

Diese Dämpfe hoch gespannt treiben die Erdoberfläche in Blasenform auf; sie erzeugen Erdbeben, Spalten und Klüfte im Gesteine, Hebungen ganzer Erdtheile; sie veranlassen Vulkane, Salsen, Thermen.

Die innere Erdwärme, indem sie die eben genannten Erscheinungen hervorruft, scheidet aus dem in die Tiefe eingedrungenen Meerwasser alkalische Stoffe ab, durch welche sie die Metamorphose der Sedimente, der Thonschiefer und Sandsteine zu Pyroxen, Trachyt, Hornblendschiefer, Syenit, Gneus, Glimmerschiefer u. s. w.

Digitized by Google

bewirkt und Laven bildet, welche in dünnem Flusse den Vulkanen entquellen. Durch die Zuführung von Stoffen und die Entwicklung von Krystallen im Tiefsten müssen allmählige Hebungen und Auftreibungen der Gebirgsschichten entstehen.

Die Erdwärme veranlasst endlich mittelbar die Zersetzung und Metamorphose der Gesteine durch die entweichenden Säuren und Wasserdämpfe, die Bildung von Granit, quarzführendem Porphyr u. s. f. von Thon, Sand, Gyps und allerlei Schwefelverbindungen von Kochsalz und andern Chlorüren.

Digitized by Google

2. Das Wasser.

Das Wasser tritt in drei Zuständen auf Erden auf: als Dampf *elastisch flüssig*, als Wasser *tropfbar flüssig*, als Eis und Schnee *starr*. In jeder Form wirkt es in andrer Weise auf die Erdrinde ein. — Die *Wasserdämpfe*, wie sie den Tiefen der glühenden Erdregion und den Vulkanen nahe entstehen, bewirken mit unwiderstehlicher Gewalt das Zerfallen, die Auflösung der Gesteine. Sie erweichen die festesten Massen und erleichtern die Einwirkung der mit ihnen emporringenden sauren Gase. — Ueberglühende, der weitern Oxydation fähige Gebirgsarten, namentlich Eisenoxydul-haltige, streichend, zerfällt der Wasserdampf in seine Elemente. Der Sauerstoff vereinigt sich mit den Oxydulen zu Oxyden, der Wasserstoff entweicht als solcher, oder verbindet sich mit Schwefel und vielleicht auch mit Arsen, um in andern Regionen Neubildungen zu vermitteln. Durch die Einwirkung der sauren Gase

Digitized by Google

(Salzsäure, schwefelige Säure), welche den Wasserdampf begleiten, verbleichen die dunkelfarbigen Pyroxengesteine, und die Trachytfelsen werden zu weisser Porzellanerde, indem Eisenoxydul, Manganoxydul, Kalk, Talkerde, Kali und Natron ausgezogen und fortgewaschen werden.

Wo der Wasserdampf mit Schwefelwasserstoff in Verbindung die Gesteine durchweicht, entstehen Schwefelmetalle verschiedener Art; unter gleichzeitigem Luftzutritt und bei Gegenwart von Kalkerde, Gyps; aus alkalischen Silikaten Alaun, Bitterspath, Glaubersalz u. dgl.

Wasserdampf mit Kohlensäure in Verbindung zersetzt die alkalischen Silikate und macht die Kieselerde im Wasser auflöslich. Ihre Einwirkung auf die Silikate erzeugt Opale der verschiedensten Art, Kieselsinter, Kalzedon u. a. amorphe Kieselmineralien; sie bewirkt die Bildung von kohlensauren Alkalien, von kohlensaurem Eisen- und Mangan-Oxydul, kohlensaurer Kalkerde und Talkerde.

Tritt zu der letzteren Gaseinmengung auch noch atmosphärische Luft, so entsteht Braun- und Gelbeisenstein, Graubraunstein u. dgl. aus diesen Zersetzungsprodukten.

Der bei Erdbeben durch geöffnete Spalten aufwärts steigende Wasserdampf ist die Veranlassung vieler heisser Quellen. Die gepresst aufwärts getriebenen

Digitized by Google

Wasserdämpfe reissen in manchen Fällen vermöge der Schnelligkeit ihrer Bewegung allerlei Stoffe aus der Tiefe mit sich; w. z. B. Kieselerde, welche für sich allein nicht sublimirt werden kann, jedoch ist diese letztere Wirkung (mit Ausnahme der bei den Vulkanen vorkommenden oben geschilderten), sehr untergeordnet, weil in der Regel die Spalten, aus denen die Dampfstrahlen kommen, eng, gekrümmt und mit lockerm Materiale verstopft sind. — In vulkanischen Gegenden indessen werden zuweilen Dampfstrahlen mit solcher Vehemenz aus den Spalten gepresst, dass sie dicke Steine hinwegzuschleudern vermögen.

An der Oberfläche des Meeres und der Erde entsteht bekanntlich ebenfalls Wasserdampf, welcher die Wolken und den Regen, den Thau, Nebel, Schnee und die Gletscher, die Quellen und alles sogenannte süsse Wasser und sohin den Kreislauf des Wassers überhaupt, vermittelt.

Das tropfbarflüssige Wasser bewirkt durch seine Bewegung sowohl, als auch durch seine auf die Mineralien auflösend wirkende Eigenschaft grossartige Umbildungen auf dem Erdspäroide.

A. Von den Wirkungen des bewegten Wassers.

Das als Regentropfen aus dem Dunstkreise fallende Wasser übt vermöge seiner Fallgeschwindigkeit einen Stoss auf die Erde aus; so unbedeutend diese Kraft

Digitized by Google

auch erscheint, so bringt ihre unzählige Wiederholung doch zuletzt eine sichtbare Wirkung hervor. — „Steter Tropfen höhlt den Stein."

Alle nackten Felsen und Erdarten werden von den fallenden Regentropfen abgenagt, ihre Oberflächen werden abgerundet, mit kleinen Gruben besäet, die abgebrochenen Stäubchen sammeln sich in der Nähe um durch den Regenstrom an den Abhängen der Berge und Hügel herabgeführt zu werden. — Der Regen arbeitet sohin an der Verflachung der Berge; mehr noch zerbröckeln aber die Gesteine und Felsmassen durch den Frost; denn das in den durchnässten Gesteinen eingeschlossene Wasser dehnt sich beim Gefrieren aus und sprengt die festesten Felsen.

Auf den Abhängen der Berge abwärtsströmend, reisst das Regen- und Schneewasser eine grosse Menge feiner Theilchen mechanisch mit, so, dass es oft davon ganz schlammig wird. Diese feinsten Erdtheilchen führt es den Flüssen, Seen und dem Meere zu; ein grosser Theil derselben bleibt aber auch da, wo dichter Pflanzenwuchs, (namentlich Gras und Moos) den Erdboden bedeckt, an den Gehängen sitzen, indem der wie ein Filter wirkende Pflanzenfilz das Wasser wiederum klärt. Wir sehen daher trübes Regenwasser am obern Theile einer Bergwiese eintretend, deren unteres Ende vollkommen geklärt verlassen und bemerken, dass alle Bäche, welche ihren Ursprung in rasenreichen Berg-

Digitized by Google

gegenden haben, sich durch Klarheit ihres Wassers auszeichnen. Das Gras wächst alljährlich durch, diesen ihm von oben zugeführten Boden durch, allerlei in ihm lebende Geschöpfe, namentlich Schnecken, bleiben aber im Schlamme zufällig begraben; wir finden sie, wie auch andere sich eingrabende Thiere, abgestorben in den Ablagerungen. Die Pflanzenwurzeln sterben ab, bleiben als kohlige Substanz eingemengt, oder an ihre Stelle treten allerlei einfiltrirte Stoffe, wie Kalkspath, Quarz, Kalzedon, Mergel u. s. w., nachdem ihre vegetabilische Substanz durch Reduction gesäuerter Körper aufgezehrt war. Wir finden den Lehm in dieser Weise gebildet, selbst Kalkschichten, namentlich in der Nähe von Kalktuffabsätzen entstehen. (Zu vergleichen meine Abhandlungen über den Ahlersbacher Kalktuff und den Lehm der Obergrafschaft Hanau in den Jahresberichten der Wetterauer Gesellschaft von $18^{47}/_{50}$ und $18^{51}/_{52}$).

Sandabsätze, Thongebilde erzeugen sich durch Filtration aller Orten, wo Gelegenheit dazu vorhanden ist.

Wird der Rasenboden durch eine stärkere Fluth, durch Wolkenbrüche und ähnliche ungewöhnliche Naturereignisse mit Gerölle und Steinschutt bedeckt, so wird die Bildung der Schlammabsätze alsbald auf so lange unterbrochen, bis sich aufs Neue eine Rasendecke über dem Trümmerhaufwerke angesetzt hat.

Ein anderer Theil des Regenwassers durchsinkt den Erdboden und tritt in die Gesteine ein. Er schlemmt

Digitized by Google

lettige, sandige lehmige Massen in die offenen Klüfte, wo selbe später der Maceration und Zersetzung unterworfen werden. Dieses Wasser ist nun zwar klar und hell, es enthält aber eine grosse Menge extrahirter Stoffe, wovon wir später weiter reden werden. Es ist das Quellwasser, welches zusammenrieselnd, die Bäche bildet. Bäche, Flüsse, Ströme (das fliessende Wasser) nehmen während ihres Herabsinkens von höhern zu tiefern Punkten der Erdoberfläche alle Stoffe mit, indem sie eine, je nach der grössern oder geringern Geschwindigkeit ihres Laufes, verschiedene Stosskraft ausüben. Sie durchwühlen dabei den Boden, zerstören und höhlen sich Bette aus, setzen aber auch da, wo sich die Schnelligkeit ihrer Bewegung mindert, wiederum Massen ab. — Die Bäche höherer Gebirge, welche alle ein bedeutendes Gefälle haben, reissen Gesteintrümmer mit fort, welche sie abrollen; sie graben, wo sie von steilen Wänden herabfallen, kesselförmige Vertiefungen, die sogenannten Riesentöpfe, selbst in den festesten Felsen ein. Die über die glatt genagten Gesteine hingerollten Geschiebe erzeugen Rinnen, welche ihren Weg andeuten. Wo diese Bäche ins Hauptthal einmündend plötzlich einen sanften, geneigten Boden erreichen, häufen sie Schuttmassen an, welche in Form von Halbkegeln an den Gehängen hervorstehen. Solche Alluvialkegel ändern fast täglich ihre Form, denn beständig verstopft der Bach sich sein altes Bett und muss dann ein neues austiefen. Wir sehen solche

Digitized by Google

Bildungen in den Alpen oft so bedeutende Ausdehnung erreichen, dass sie ganze Dörfer tragen; bei uns im Kleinen in jedem Gebirgsthale selbst vor den Wassergräben der Wiesen entstehen.

Die in den weitern Thälern abfliessenden Bäche haben, den Gebirgen nahe, in der Regel zwei Betten, das weitere erfüllen sie nur bei anhaltendem Regenwetter und wenn im Frühjahre der Thauschnee herabrinnt; es ist überdeckt mit zahllosen Rollsteinen.

Innerhalb dieser Steinwüsten schlängelt sich bei trockenem Wetter der Bach in den mannigfaltigsten Krümmungen, Inseln bildend, dahin; ja er versiegt zu manchen Zeiten selbst so weit, dass in der Oberfläche des Bettes ganz und gar kein Wasser mehr sichtbar ist, vielmehr alles in der Tiefe zwischen den Steinen durchrinnt.

Jedes fliessende Wasser, sobald sein Bett nicht aus wasserdichten Schichten, als: Thon und unzerklüfteten Felsen besteht, muss sich den neben- und unterliegenden Schichten mittheilen. Wir sehen so oft auf den Schichtenflächen der Gesteine Wasser in Tropfen und dünnen Strömen sich fortbewegen; wir finden in den Bergen an so vielen Stellen aus dem Gesteinschutte, aus Sand und Sandsteinen, Kalk und Schiefer, Basalt, Granit und allen andern abgesonderten Gesteinen Quellen zu Tage treten, dass darüber kein Zweifel mehr obwalten kann, wie das Wasser aller Orten, der Schwere

Digitized by Google

folgend, sich den Weg in die Tiefe sucht. Manche Bäche versinken ganz in Spalten und Klüften um an andern Orten wieder als mächtige Quellen zu Tage zu treten, andere verlieren nur einen geringern oder grössern Theil ihres Wasserreichthums, so dass sie ihren Quellen näher, stärker sind, als an ihrer Mündung.

Es ist nicht zu bezweifeln, dass das solcher Weise im Bett versiegende Wasser sich in den Erdschichten fortbewege, wenn auch, der grössern Reibung wegen, langsamer, als im Flussgerinne. Es kommt auf diesem Wege in Berührung mit einer Menge Stoffe, welche es in sich aufzunehmen vermag.

Kalksteingebirge sind in vielen Fällen durchzogen von zahlreichen, offenen Klüften und Höhlen, in welchen jedoch nicht immer Wasser fliesst, wenngleich sie in der Regel durch Ausspülung entstanden sind. Das in den Erdschichten sich fliessend bewegende Wasser wäscht sohin Höhlungen aus, welche durch den Druck der überliegenden Massen zusammen geworfen, die Veranlassung von Erdfällen, Einsenkungen, und selbst Bergstürzen sein können.

Ausser diesen unterirdischen Auswaschungen bewirkt das Strömen der Flüsse auch Eintiefungen von Rinnen an der Erdoberfläche. In der Nähe sehr vieler Quellen bemerken wir tiefe grabenförmige Einsenkungen, welche entweder ziemlich geradlienig in einer Richtung fortziehen, oder verzweigt ein ganzes Netz von „Wasser-

Digitized by Google

rissen“ bilden. Diese Risse sind entstanden durch die ausspülende und einschneidende Wirkung des Wassers, welches unter und über der Erde sich bewegt. Fortsetzend und stets tiefer und tiefer werdend verlaufen diese Wasserrisse in die Bach- und Flussthäler, indem sie sich entweder diesen, als schon vorhandenen aus der Einwirkung des Meeres auf die Küsten hervorgegangenen Fiorden, oder durch Spaltung, Hebung, Senkung und Faltung der Schichten vorbereiteten Eintiefungen anschliessen, oder indem sie selbst nur die sich stets noch fortentwickelnden Endpunkte solcher Einwaschungsthäler (Erosionsthäler) sind. Hier und da bietet sich Gelegenheit dar in Mitten eines Falten-, Spaltungs-, Hebungs- oder Firord-Thales ein neueres Erosionsthal zu beobachten; man findet daselbst in der Regel auf dem oft sehr beträchtlich höher liegenden ältern Thalgrunde Geschiebe und Rollsteine anderer Art, als auf dem Boden (der Sohle) des neuen Thaleinschnittes. **Fig. 9 u. Fig. 10.**

Wenn im Verlaufe des Weges, welchen ein Fluss durchströmt, feste und weiche Schichten zu durchbrechen sind, so entstehen oft Kataracte, Wasserfälle, welche alle rückwärts ausspülend wirken. Dadurch wird das Bett der Flüsse allmählig mehr und mehr ausgetieft, oberhalb der Kataracte befindliche Seen werden endlich abgezapft und trocken gelegt, wobei heftig und vielfach zerstörend wirkende Fluthen veranlasst werden.

Digitized by Google

Fig. 11. aa. See, bb. weiche Thon- oder Mergelschichten, cc. festere Kalk- oder Sandsteinlagen, dd. Kataracte, welche durch das Unterwühlen der festern Schichten die Veranlassung zum Rückwärtsaustiefen des Flussbettes ee. werden.

Solche Erscheinungen finden wir in allen Welttheilen, sowohl noch thätig, als auch in ihren Folgen. Wenn der Damm a. d. so dünn wird, dass er dem Drucke des Seewassers nicht mehr zu widerstehen vermag, so weicht er, und ein gewaltiger Schlamm- und Wasserstrom ergiesst sich über die tiefern Gefilde. Grosse Gesteinstrümmer werden bei solchen Gelegenheiten mit fortgeschoben und in spätern Zeiten als Irrblöcke auf fremdem Boden gefunden.

Sobald das Gefälle eines Baches, Flusses oder Stromes so gering wird, dass durch den Wasserstoss keine schwereren Rollstücke mehr fortbewegt werden können, transportirt das Wasser nur noch leichtere Sandkörnchen; auch diese sortiren sich allmählig nach ihrer Schwere und Grösse, wie das Pochmehl der Erzwäschen, in den Fluthgräben, worauf endlich nur ganz feiner Schlamm dem Wasser beigesellt bleibt, der sich in den Seen und Meeren an den Boden legt. Das auf diese Weise von den Höhen in die Tiefe geförderte Material ist sehr belangreich. Das *Rheinwasser* enthält z. B. selbst im klaren Zustande so viel aufgespülte Schlammtheile, dass sie in der bei *Bonn* vorüberfliessenden

Digitized by Google

Wassermenge an einem Tage 5200 Kubikmeter betragen, bei trübem Wasser, bei Fluthen kann diese Quantität leicht mehr als die zehnfache Menge ausmachen. Nehmen wir jedoch nur die eben berechnete an, so werden jährlich ca. 2,000,000 Kubik-Meter Schlamm durch den Rhein in das Meer geführt. Das Stromgebiet des Rheines umfasst 4,700 □ Ml., oder = 0,026 der Fläche Europa's; wenn also der Schlammgehalt der übrigen Flüsse Europa's nicht grösser, als der des klaren Rheines angenommen wird, so werden jährlich 77 Millionen Kubik-Meter feste Substanz den Meeren zugeführt; d. h. in fünfhundert Jahren ein Kegelberg von 1000 Meter Höhe und $2^1/_{10}$ □ Ml. Grundfläche, ein Berg etwa wie der Brocken am Harze. — Welche Schlammmassen der Nil, der Senegal, der Ganges, der Amazonenstrom, der Orinoco, der Missisippi u. a. grosse Ströme dem Meere zuführen, geht aus den an ihren Mündungen angehäuften Deltàs zur Genüge hervor. — Viele Seen sind auf diese Weise schon gänzlich zugefüllt, andere, welche in Einsenkung, Mulden oder Spalten sich ansammelten, deren Boden bis tief unter das Niveau der allgemeinen Wasserbedeckung herabragt, werden stündlich flacher, mit der Zeit werden sie zu Sümpfen und endlich zu trocknem Lande. — Die Schichten, welche sich aus dem Eingeflössten bilden, sind da, wo die Flüsse und Bäche einmündeten, gröbere Geschiebe, vielleicht zu Conglomeraten und Puddingen verkittet; tiefer in dem Innern der Becken

Digitized by Google

Sand, Sandstein und Thon. Auch an den Ufern, namentlich der Meere und der grösseren Seen, werden Sandstein und Sandgebilde bemerkt, an deren Bildung Wind und Wellenschlag in Gemeinschaft thätig sind. Es sind dieses die *Dünen*, von denen im Verlaufe die Rede sein wird. Die in den Seen und im Meere lebenden Muschelthiere vergraben sich theilweise im Schlamme. Wühlt man den Schlamm auf, so findet man oft tausende dieser Geschöpfe nebeneinander liegen. Wenn sie absterben bleiben ihre Schalen stecken, und nachdem der Absatz erhärtet ist, sehen wir sie als Versteinerungen im Sandsteine und Schiefer.

Die abgesetzten Schichten können der Natur der Sache nach nur gegen die Mitte des Sees wagrecht liegen; an den Ufern und Mündungen der Zuflüsse, wo die meisten eingeschlemmten Massen zu Boden sinken, werden mehr oder weniger steil einfallende Sedimentablagerungen angehäuft, welche überdies an den flachen Meeresufern oft noch mit Dünenhügeln im Zusammenhange stehen. Die Anschwemmungen an den Mündungen der Flüsse haben in der Regel die Gestalt eines Dreiecks, dessen eine Spitze im Flusse selbst liegt, während seine eine breitere Seite dem Meeres- oder Seebecken sich zukehrt.

Wo indessen der Wogendrang, oder vorüberziehende Meeresströmungen die Anschwemmungen fortführen, da wird die Form öfters in eine äusserst unregelmässige

Digitized by Google

verändert. Der Wellenschlag, die Brandung schwemmt leichtere Theile fort, wälzt die Rollstücke, und selbst aus der Tiefe des Meeres aufgespülte Gesteinsbruchstücke und Muscheln auf die schon gebildeten Anschwemmungen heran, Wälle und Hügelketten erzeugend. Unterstützt wird die Wirkung der Brandung noch durch den vom Meere her wehenden Wind. Der Sturm treibt die getrübten Wellen den Küsten entgegen, die aufgewühlten Sandmassen werden auf dem Lande, oder, wo Flüsse einmünden, Untiefen vorhanden waren, wo also der Brandung hinreichender Widerstand zur Minderung ihrer Gewalt entgegen tritt, selbst noch unter Wasserbedeckung abgesetzt. In letzterem Falle entstehen allmählig Sanddämme, welche Theile des Meeres als Lagunen vom grossen Ganzen abscheiden. In diesen Lagunen entwickelt sich, wenn Flüsse in sie einmünden und ihr Wasser verdünnen, eine eigenthümliche Fauna und Flora, welche Torf- und Kohlenstofflager veranlasst, oder wenn sie in wärmeren Erdtheilen nur durch Sturm über den Damm geworfenes Meerwasser gespeist worden, ein solcher Reichthum von Salz, dass sich dieses endlich wie in der Siedepfanne einer Saline am Boden ansammeln muss. — Eingeführter Flussschlamm, eingewehter Meeressand, entwickelte Pflanzen- und Thierprodukte füllen endlich auch die Lagunen und nun entstehen auf dem neu geschaffenen Boden Dünenhügel. Wir sehen sohin am Rande des gesalzenen Wassers in Lagunen eines Orts Salzablagerungen,

Digitized by Google

andern Orts vielleicht in unmittelbarer Nähe Brackwasser- und Süsswasser-Gebilde, Torf- und Braunkohlenartige Ablagerungen, selbst Einschwemmungen von Ueberresten der Landflora und Fauna entstehen, und endlich alles überdeckt mit Sandmassen, deren Schichtung und Streifung an die so oft in den Sandsteinen beobachtete bunte Zeichnung erinnert.

Nicht allein durch die Bewegung des in Rinnsaalen fliessenden Wassers, werden aus den Zersetzungsprodukten und der Zerbröckelung der Gesteine Neubildungen vermittelt, sondern auch das durch die Anziehung der Sonne und des Mondes oder durch Luftbewegung in Schwankung versetzte Meer wirkt zertrümmernd auf seine Ufer und einen Theil seines Bodens, reisst Material zu in der Tiefe und am Strande aufzuführenden Neubauten los. Die täglich sich wiederholende Fluth und Ebbe der Meereswogen, Sturm und Wellenschlag spülen gewaltige Haufwerke zusammen. Auf dem Grunde des Meeres hin- und hergerollt schleifen sich die Gesteinsbruchstücke zu runden Körpern ab, welche vermengt mit Muschelschalen und andern Meeresgeschöpfen, verkittet durch kieselige und kalkige Niederschläge der Diatomeen, Algen und Forammiferen am Strande zu festen Sandsteinen erhärten. — Die einbrechende Fluth nagt an felsigen oder überhaupt steilen Ufern Theile des Gesteins ab, welche von der Ebbe mit fortgerollt werden, um am flachen Strande von der steigenden Fluth gehoben, landeinwärts zu wandern. Auch hier

Digitized by Google

nimmt die Ebbe feinere leichtere Sandkörnchen wieder mit rückwärts, so dass ein Wall von gröbern Geschieben entsteht, dessen Fuss vorwärts von feinerm Sande umgeben erscheint. Sobald das ebbende Meer den feinern Sand unbedeckt lässt, heben Seewinde den trocknenden Staub auf und führen ihn jenseits des Conglommeratwalles, wo er die durch diesen begrenzten Lagunen erfüllt, oder meerwärts flach, landeinwärts steiler ansteigende *Dünen* zusammensetzt. Von der Stärke des Windes ist es abhängig wie weit der Dünensand transportirt wird. Sanfte Windstösse werden ihn nur bis an die Krone des Dünenhügels treiben um ihn alsdann im Schutze desselben rasch fallen zu lassen; **Fig. 12.** daher die landwärts gekehrte Seite der Düne steil abfällt. Heftige Stürme aber jagen das lockere Material noch weit hinaus und erfüllen sohin die starken Winkel zwischen der Krone und dem Fusse. Auch Landwinde führen in diesen Winkel Material und es entstehen dadurch Schichtenzeichnungen wie in **Fig. 12.** angedeutet sind.

Sturm und hochgehendes Meer brechen je zuweilen die vordere (Meer-) Seite der Düne ab, wodurch steile Abhänge auch hier entstehen, die sich aber bei ruhigem Wetter wieder mit Sand erfüllen.

Sind die Dünen nicht bewachsen, so werden sie von heftigen Winden leicht so weit landeinwärts geführt, dass dadurch Wohnstätten verschüttet und fruchtbare Gefilde zur Wüste werden.

Digitized by Google

Die Dünen- und Lagunengebilde*) sind von grosser Bedeutung für die Entwickelung der Sedimentgesteine. In ihnen liegen die Schlüssel für zahlreiche geologische Erscheinungen von den Steinkohlenablagerungen herauf bis in die jüngsten Gebilde. — Aus ihrem Studium erfahren wir wie Süss- und Salzwasserfaunen schnell aufeinander folgen können; wie Geröll- und Sandablagerungen in einander verlaufend neben Kalkgebilden, Kohlenlagern, Steinsalz und Gyps vorkommen können.

Dem Ufer ferner können nur sehr unmächtige Sedimente vom Meere niedergelegt werden; denn in weite Ferne werden nur die feinsten Schlammtheilchen geführt, und sinken hier vereint mit aus dem Wasser durch chemische Actionen und die Lebensthätigkeit der Pflanzen und Thiere abgetrennten Stoffen zu Boden, während den Küsten näher nicht allein die Geröll- und Sandabsätze, sondern auch die Productionen der organischen Wesen ungleich rascher an der Ausfüllung der Meeresbecken thätig sind.

Wie das dampfförmige und tropfbarflüssige Wasser, so nimmt auch das *gefrorne* Antheil an der Umgestaltung der Erdoberfläche.

Es ist bekannt, dass das Wasser nach dem Gefrieren einen grössern Raum erfüllt, als vorher, dass es

*) Z. v. G. Theobald in den Jahresberichten der Wetterauischen Gesellschaft $18^{43}/_{44}$ und $18^{50}/_{51}$.

Digitized by Google

mit einer unwiderstehlichen Gewalt die Gefässe, in denen es eingeschlossen ist, beim Erstarren zerbricht. Wenn demnach Wasser in den Klüften und Poren der Gesteine zum Gefrieren kommt, so müssen auch diese der trennenden Gewalt weichen; sie zerbröckeln. Auf diese Weise bewirkt das Wasser die Zertrümmerung der festesten Felsmassen, es sprengt ebenso gewaltige Gestein-Blöcke los; stürzt sie um, wie es nicht minder die Körnchen der Ackerkrume in noch feinere zertheilt. Aber obgleich diese Wirkung des Eises die ungleich verbreiteste ist, so ist es doch nicht die einzige; das Eis dient auch als Transportmittel für ungeheure Gesteinsmassen.

Die Hochgebirge der gemässigten Zone, das Hügelland und die Ebenen jenseits des Polarkreises bedeckt das ganze Jahr hindurch Schnee. Durch den Einfluss der Sonnenwärme thaut dieser Schnee oberflächlich und das in die untern Lagen einsickernde Wasser vergrössert, indem es sich an die vorhandenen Eiskryställchen anhängt, diese zu kleinen hagelähnlichen Körnchen, welche in der Schweiz den Namen „*Firn*“ erhalten haben. Der Firn nimmt, wenn er Thalvertiefungen erfüllt, nach der Tiefe allmählig die Form eines grobkörnigen zusammenhängenden Eises, des „Gletschereises“ an. — Das Gletschereis ist nur während der warmen Jahreszeit an seiner Oberfläche mit Körnern überdeckt, an den Luft unzugänglichen Punkten und in der kältern Zeit bildet es eine dichte tiefblaue Eismasse. Wo

Digitized by Google

es in durch Felsriegel gesperrten Thälern ruht, und die *Eismeere der Alpen* bildet, fördert es keine geologische Prozesse, es dient nur einfach als Brücke für die von da thalabwärts sich senkenden Gletscher. Die in Alpenthälern mit mehr oder weniger steilem Gefälle hereinragenden Gletscher bewegen sich mit einer gewissen Geschwindigkeit, welche von mehreren Beobachtern *) durch an beiden Ufern des Gletschers und dessen Mitte aufgestellten Signalen gemessen worden ist. — Die Bewegung ist ganz wie bei flüssigem Wasser, an den Ufern und am Boden geringer, weil hier die Adhäsion des Eises die Bewegung verzögernde Reibungswiderstände verursacht. Während des Fortgleitens zerspringt die oft mehr als hundert Fuss dicke Eismasse des Gletschers; es entstehen die quer gegen seine Längenerstreckung gerichteten Gletscherspalten. Wenn im Sommer das Eis und der Firn oberflächlich schmilzt, dann stürzen Wasserfälle in diese Spalten, erweitern sie, führen Sand und Gerölle mit an den Boden, wo die auf das Eis schmelzend wirkende Erdwärme Gänge, Höhlungen (Gletscherthore) aushöhlt, in denen sich das Wasser fortbewegt, um als Gletscherbach an der tiefsten Stelle hervorzutreten. Auf des Gletschers Rücken fallen von beiden Ufern Felsblöcke, die Frost und Sturm von ihrem Standorte losbröckeln, herab, und werden als Seitenmoräne mit fortgeschleppt, indem sie entweder

*) Aggasiz, Hugi.

Digitized by Google

einfach der Bewegung der unterliegenden Eismasse folgen, oder indem sie Gletschertische bildend, d. h. eine unterterliegende Eissäule vor dem schnellen Aufthauen schützend, allmählig auf eine über der allgemeinen Fläche emporragenden Eismasse, welche dünner ist, als der Durchmesser des Felsstückes, zu liegen kommen, nach dem Abschmelzen des Eisfusses sich überstürzend auf der Gletscheroberfläche fortrollen.

Wenn zwei Gletscher zusammenfliessen, so entsteht natürlich auch eine Mittelmoräne; es können sogar mehrere Mittelmoränen vorkommen, sobald sich mit dem Hauptgletscher noch öfters Seitengletscher vereinen.

Alle die Moränen bildenden Steinblöcke bleiben scharfeckig und werden zuletzt am untern Ende des Gletschers zu einem hohen Wall, der Endmoräne, aufgethürmt, welche ausserdem auch die am Boden des Gletschers fortgeschleppten abgeschliffenen Gesteinsstücke und Sand enthält. An diesen quer durch die Thäler ziehenden Steinwällen erkennt man die frühere Ausdehnung der Gletscher; sie sind jedoch nur da mit Zuverlässigkeit nachzuweisen, wo noch jetzt in nicht allzugrosser Ferne diese Erscheinung vorkommt und bestehen kann; und die Ansicht, dass einstmals die Gletscher ganze Länder bedeckend den Transport der eratischen Blöcke besorgten, ist von der Wissenschaft überwunden. Durch die Bewegung des Gletschereises wird

Digitized by Google

das Gestein, aus welchem dessen Bett besteht, ebenso abgerieben und geschliffen, wie durch die Bewegung des flüssigen Wassers; jedoch mit dem Unterschiede, dass der Gletscher die reibenden und Furchen schleifenden Sand- und Geröllkörner einhüllend mehr parallele Reifungen hervorbringt, als das Rollsteine führende Wasser der Gletscherbäche, dass es weiche und harte Lagen gleichmässig polirt und ritzt, und dass die von ihm fortgeschobenen in's Eis eingehüllten Stücke abgerundet und zugleich geritzt werden. Diese zerstörende Wirkung der Gletscher ist eine bedeutende. Aus dem durch die Gletscherbäche entführten Sande kann man sie annähernd berechnen.

Es sind Schweizer-Gletscher bekannt, welche täglich an 6000 Cubikfuss Felsgestein zu Staub umwangeln, also in 100 Jahren an 219 Millionen Cubikfuss Sand erzeugen, oder einen Thalausschnitt von 1000 Fuss Breite und 100000 Fuss Länge, um etwa 2 Fuss tiefer machen. — Die Gletscherschliffe sind am Thalboden und an den Seitenwänden, so hoch der Gletscher reicht, bemerkbar, über ihnen liegt die Zone der von den Seiten- und End-Moränen abgelagerten Felsblöcke.

In den Erdtheilen, in welchen das Meerwasser gefrierend mächtige Eisfelder und Eisberge bildet, werden gelegentlich die an den Küsten der Inseln und des Festlandes anstehenden Felsen durch Frost zerspalten und auf das Eis herabgestürzt, nach eingetretenem wär-

Digitized by Google

merem Wetter von Stürmen losgebrochen, schwimmen die mit den Steinblöcken arktischer Regionen beladenen Eisberge den südlicheren Meeren zu und lassen zuletzt der Wärme unterliegend ihre Fracht zu Boden sinken.

Die auf solchem Wege aus dem Norden nach Süden geförderten eratischen Gesteinblöcke, umgeben von Strand und Meerabsätzen, finden wir durch ganz Norddeutschland bis an den Saum des Harzes, in einem grossen Theile von England und Russland. Ihre Zahl ist sehr beträchtlich und da auch jetzt noch das Meer solche Massen aus dem Norden nach dem Süden, nicht aber umgekehrt, bewegt, so trägt dasselbe zur Abplattung der Pole bei.

B. Von den Wirkungen des Wassers als Auflösungsmittel.

Weniger bemerkbar für den Zuschauer, aber ungleich bedeutender in ihren Folgen sind die *chemischen* Wirkungen des Wassers. Sie gehen in der Regel im Verborgenen vor und sind stets mit dem Schleier des Geheimnisses bedeckt, welchen nur der Chemiker in seinem Laboratorio zu lüften vermag.

Nachdem aber die chemischen Untersuchungen dargethan haben, wie sich Wasser mit Oxyden und Salzen verbindet, wie das Wasser viele in sich aufzunehmen,

Digitized by Google

aufzulösen vermag, kann auch der Geologe seine Schlüsse auf diese Erfahrungen gründen.

Da das Wasser alle Erdschichten durchdringt, alle Poren der Gesteine erfüllt, sich in ihnen bewegt, so dass es in der Erdrinde als das *Allgegenwärtige* angenommen werden muss, so sind auch überall seine Wirkungen zu verfolgen. Es verändert Oxyde zu Hydraten, tritt als Krystallisationswasser auf, entführt Stoffe, um sie nach den chemischen Verwandschaftsgesetzen an andern Stellen in anderer Form wieder abzusetzen. Es verbindet sich mit den Säuren und unterstützt deren Wirksamkeit.

Das Wasser der auf Erden fliessenden Quellen, Bäche, Flüsse, der Seen und Meere enthält überall erdige Substanzen. Die am häufigsten gelöst vorkommenden Stoffe sind Chlorverbindungen von Natrium, Kalium, Kalzium, Magnesium, dann schwefelsaure Verbindungen dieser Alkalien und Erden, kohlensaure Verbindungen derselben, und des Eisen- und Manganoxydules, endlich Kieselerde und Thonerde. Seltener wurden in den Quellen nachgewiesen: Strontian-, Lithion- und Barytsalze, Arsensäure, Borsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure, Schwefelwasserstoff, schwefelige Säure, Jod, Brom, Fluor, Ammoniak, Kupfer, Zink u. s. w.

Der Salzgehalt der Mineralwasser ist eine allgemein bekannte Eigenschaft, eben so wenig ist es nöthig auf den Gehalt der Salzquellen und des Meerwassers an

Digitized by Google

erdigen Stoffen aufmerksam zu machen. Wir haben desshalb wohl nur einige Beispiele aufzuführen um zu zeigen, wie sehr bedeutend der den Sinnen wenig oder nicht auffallende Erden- und Salzgehalt der Gewässer sein kann und wirklich ist.

Der grosse Soolsprudel zu Nauheim, welcher jährlich an 633000 Kubik-Meter Wasser gibt, enthält nach Bromeis

	in 100 Theilen:	oder in der in einem Jahre geförderten Wassermenge: Kilogramm	oder Kub.-M.
Kochsalz	2,3600	15,235,160	7100
Chlorkalium	0,0524	338,294	160
Chlorkalzium	0,1935	1,294,236	580
Chlormagnesium	0,0336	218,879	100
Einfach kohlens. Kalk	0,1485	958,250	350
„ „ Eisenoxydul	0,0048	30,736	10
„ „ Manganoxydul	0,0021	9,325	
schwefelsaure Kalerde	0,0052	33,574	10
Kieselerde	0,0021	13,574	5
Brommagnesium	0,0010	6,457	3
		18,093,585 Kilogramm.	8328 Kub.-Meter.

d. h. eine Masse trockener fester Erden und Salze, welche einen Würfel von mehr als 63 Fuss Seite bildet. Es würden daher etwa 304 Jahre nöthig sein, um aus den Bestandtheilen des Nauheimer Sprudels eine Pyramide von 710′ Länge und Tiefe und 448′ Höhe, wie die grösste Aegyptens, aufschütten zu können.

Digitized by Google

Das Rheinwasser enthält nach Müller (bei Emmerich geschöpft)

	in 100 Theilen:	oder in einem Tage fliessen bei Emmerich vorbei:*) Kubik-Meter:
schwefelsaure Kalkerde	0,00325	4,604
„ Bittererde	0,00260	4,580
kohlensaure Kalkerde	0,00846	11,523
„ Talkerde	0,00430	5,770
kohlensaures Eisenoxydul	0,00078	940
„ Manganoxydul	0,00039	
Chlornatrium	0,00065	930
Kieselsäure	0,00163	1,930
Thonerde	0,00195	2,730
Organische Substanz Quellsäure	0,00475	11,333
	0,02876	44,240 K.-M.
oder jährlich		16,147,600 K.-M.

Um einen kegelförmigen Berg von 10 Grad Neigung und 1000 Meter Höhe, welcher also etwa so hoch wie der Brocken am Harze sein, und $2^1/_{16}$ Quadratmeilen Landes bedecken würde, zu bilden, würden ca. 2400 Jahre nöthig sein.

Nach *Kautz* beträgt die in Europa jährlich fallende Regen- und Schneewasser-Menge 33 Zoll, d. h. sie würde

*) Die bei Emmrich in 24 Stunden vorüberfliessende Rheinwassermenge beträgt im Durchschnitt: 307,980,000 Kubik-Meter oder 307,980 Millionen Kilogramm!

Digitized by Google

die Oberfläche von 179900 □Ml. mit einer Schicht Wasser von 33‴ = 0,9 Meter Höhe bedecken, also mehr als $8^1/_2$ Billionen Kubikmeter messen, oder 85000 Billionen Kilogramm wiegen, oder eine Kugel von $3^3/_4$ deutschen Meilen Durchmesser bilden.

Die Hälfte dieses atmosphärischen Niederschlags (bei welchem der Thau noch nicht gerechnet ist) wird von der Erde aufgesogen, und durch die Quellen den Flüssen wieder gegeben; die andere Hälfte verdunstet entweder wieder, oder dient als Lebenssaft der Organismen.

Wenn man durch vielfache chemische Untersuchung fliessender Wasser belehrt, annehmen kann, dass solche 0,03 proCent Erden- und Alkalisalze aufgelöst enthalten, so würden die jährlich in die Meere von Europa strömenden 4 Billionen Kubik-Meter Flusswasser etwa 1 Billion und 200000 Millionen Kilogramm oder ca. 600 Millionen Cubik-Meter aufgelöste Salze mitbringen, welche das durch die Flüsse dem Meere als Schlamm zugeführte Material fast um das Achtfache übersteigen. — Der überwiegende Theil dieser Substanzen ist kohlensaure Kalk- und Talkerde, dann folgen Gyps, Kiesel- und Thonerde, Chlornatrium u. a. Substanzen; von Metalloxyden, namentlich Eisen- und Manganoxydul.

Da den Meeren beständig salzige Bestandtheile zugeführt werden, während das Wasser wieder in die Atmosphäre zurückkehrend, verdunstet, so müsste ihr

Digitized by Google

Salzgehalt zunehmen; wenn nicht durch das Leben der Thiere und Pflanzen und durch andere bei der Vulkanizität betrachteten Vorgänge das Gleichgewicht hergestellt würde. Wir werden unten darüber noch weiter zu sprechen Gelegenheit nehmen.

Wo Flüsse in, von der allgemeinen Meeresbedeckung abgeschiedene Seen, einströmen, da veranlassen sie eine Zunahme des Salzgehaltes, welcher unter Umständen bis zum Sättigungsgrade wachsend, zur Entstehung von Salzlagern, Gypsschichten etc. führen kann.

Beispiele solcher Vorgänge sind der Mörissee in Aegypten, welcher ehemals Süsswasser enthielt, und nun ein Salzsee ist.

Im Wasser des 435,61 Mtr. (nach Russegger) unter dem Meeresspiegel liegenden todten Meeres beträgt der Salzgehalt den vierten Theil des Ganzen. Nach G. G. Gaelin enthält dieses Wasser:

Chlorkalzium	3,2141	proCent
Chlormagnesium . . .	11,7734	„
Chlornatrium	7,0777	„
Chlorkalium	1,6738	„
Chloraluminium . . .	0,0896	„
Chlormangan	0,2117	„
Salmiak	0,0075	„
Brommagnium. . . .	0,4393	„
Schwefelsaurer Kalk .	0,0521	„
Wasser	75,4602	„
	100.—	

Digitized by Google

Das Jordanwasser führt dem todten Meere weniger Salz zu, als ein Bach, welcher in dem nahen Steinsalzgebirge entsteht. Der kaspische See, der grosse Salzsee im Columbiagebiete Nord-Amerikas sind andere Beispiele solcher Wasserbehälter, in denen sich, während das Wasser der einmündenden Flüsse verdunstet, allmählig Salzwasser erzeugt.

In den Salzseen Hochasiens, den Natronseen Aegyptens, Nordafrikas und Ungarns wird bemerklich, dass die Salze sich nach den verschiedenen Graden ihrer Löslichkeit abscheiden. — Gyps fällt stets zuerst, dann kohlensaures Natron, dann Kochsalz, schwefelsaures Natron, Bittersalz, und am längsten bleiben Chlorkalzium und Chlormagnesium gelöst.

Der Salzgehalt des Oceans ist nicht an allen Stellen derselbe. An den Küsten, in Buchten und ganzen Meerestheilen ist er wegen des steten Zuflusses des süssen Wassers der Ströme und Bäche in der Regel am niedrigsten, doch kommt auch, wenn der Wasserzufluss zur Wasserverdunstung an der Oberfläche, wie beim Mittelländischen Meere, ausser Verhältniss steht und stets noch Wasserzuströmung vom Ocean her durch eine nicht sehr tiefe und breite Meerenge erfolgt, der Fall vor, dass solche Becken salzigeres Wasser als die allgemeine Meeresbedeckung enthalten.

Beispielsweise gebe ich folgende Zusammenstellung des Salzgehaltes verschiedener Meerestheile:

Digitized by Google

	Ocean.		Nordsee.	Ostsee.	Mittel-Meer.	Schwarzes Meer.	Asovisches Meer.
	Hohes Meer.	Küste von Frankreich.					
	Marcet.	*Vogel.*	*Clemen.*	*Pfaff.*	*Laurens.*	*Göbel.*	
Chlornatrium	3,0457	2,510	2,484	1,308	2,722	1,4019	0,9658
Chlorkalium	—	—	0,135	—	0,001	0,0189	0,0127
Chlorkalzium	—	—	—	0,007	—	—	—
Chlormagnesium . . .	0,3221	0,350	0,242	0,195	0,614	0,1304	0,0887
Dop. kohlens. Kalkerde	—	0,020	—	—	0,001	0,0354	0,0022
„ „ Talkerde .	—	—	—	0,025	0,019	0,0208	0,0128
Schwefelsaure Kalkerde	0,1508	0,015	0,120	0,034	0,015	0,0104	0,0287
„ Talkerde	0,2460	0,578	0,206	0,200	0,702	0,1470	0,0764
	3,7646	3,473	3,187	1,769	4,074	1,7653	1,1876
Freie Kohlensäure . .	—	0,023	—	—	—	—	—
Wasser	96,2354	96,504	96,812	98,231	95,926	98,2347	98,8124

Digitized by Google

Aber auch der grosse Ocean hat nicht überall einerlei Salzgehalt; zwischen Europa und Amerika ist das atlantische Meer in den tropischen Regionen am gesalzensten. Die nördlichste Abtheilung dieses Oceans von Grönland bis Island enthält nach *Forchhammer*

	3,5	proCent	Salz
in der Davisstrasse . . .	3,25	„	„
zwischen Island und England	3,57	„	„
in den westl. Theilen des Meeres,			
in gleichen Breitegraden .	3,38	„	„
in den tropischen Regionen.	3,67	„	„
im westlichen Theile des Golfstromes	3,59	„	„
in demselben bei 39° 39′ nördl. Breite und 53° 16′ nördl. Länge	3,65	„	„

Der Salzgehalt des stillen Oceans ist nach den Beobachtungen von Lenz weniger gross, als der des atlandischen Meeres; die Vermittelung zwischen beiden wird durch den indischen Ocean herbeigeführt, der, dem atlandischen Ocean näher, salziger, als an den Grenzen des stillen Oceans ist. Die längs der Küste Asiens hinliegenden, von Inselgruppen umschlossenen Meerestheile sind alle weniger salzig, als das stille Meer.

Ob mit zunehmender Tiefe der Salzgehalt der Meere steigt, ist noch nicht genügend ermittelt; wo grosse Flüsse in den Ocean strömen, kann man Tag-

Digitized by Google

reisen weit das auf dem schweren Salzwasser schwimmende süsse Wasser beobachten; da nimmt allerdings der Salzgehalt gegen die Tiefe zu. Wollaston hat an einem 8000 Meter von der Strasse von Giberaltar entfernten Punkte des Mittelmeers in 1221 Meter Tiefe das Wasser viermal salziger gefunden, als an der Oberfläche.

Nirgends im offenbaren Meere ist der Salzgehalt so gross, dass durch Krystallisation Ausscheidung desselben erfolgen könnte. In abgeschiedenen Lagunen aber trifft man in der heissen Zone nicht selten Ausscheidung von Gyps und Chlorverbindungen, vornehmlich Kochsalz.

Die doppeltkohlensauren Kalk- und Magnesiasalze, die Kieselerde des Meerwassers, vielleicht auch Chlorkalzium und Chlormagnesium werden durch den Lebensprozess der Thiere und Pflanzen ausgeschieden, wie wir in der Folge nachweisen werden.

Es ist nicht wahrscheinlich, dass der Salzgehalt des Oceans ehemals bedeutend geringer gewesen, als jetzt; denn die Seegeschöpfe, welche wir in den Straten finden, die in unsrer Zeit vorausgegangenen Epochen abgesetzt sind, unterscheiden sich nicht wesentlich von denen, welche noch heute unsre Meere bewohnen. Da aber die Flüsse, wie wir gesehen haben, stündlich grosse Quantitäten Salze dem Meere zuführen, so müsste solches nach einiger Zeit wirklich merklich salziger werden,

Digitized by Google

wenn nicht gleichzeitig wieder Salze abgeschieden würden. Es sei vergönnt darüber folgende Berechnung aufzustellen. Wenn man die durchschnittliche Tiefe des Oceans auf $^1/_2$ geogr. Meile setzen darf, so erfüllt sämmtliches Meerwasser auf der Erde den Raum von $(6{,}977000 \times 0{,}5) = 3{,}488{,}500$ Kubik-Meilen. Die durchschnittliche Wassermenge, welche auf das trockne Land fällt und durch die Flüsse in das Weltmeer geleitet wird, nehmen wir zu 18 Zoll des Jahres an (in Europa fallen jährlich 33 Zoll Regen u. s. w.; nur ein Theil davon aber wird in das Meer gegeben, ein andrer Theil verdunstet wieder.)

In 100 Jahren wäre alsdann die von dem trocknen Lande ins Meer gelieferte Süsswassermenge = 1500 Fuss = 0,0681 geogr. Meilen hoch; ihr Kubikinhalt müsste $(2305000 \times 0{,}0681) = 156970^1/_2$ Kubik-Meilen betragen, das heisst in 22000 Jahren würde vom trocknen Lande so viel Wasser in den Ocean fliessen, als er jetzt enthält.

Wenn nun das vom trocknen Lande einfliessende Wasser, wie das des Rheines,

0,00065	proCent	Kochsalz,
0,00260	„	schwefelsaure Bittererde,
0,00325	„	Kalkerde,
zusammen 0,00650	proCent	leicht auflösliche Salze,

welche auch im Meere vorkommen, enthält, so könnte das Meerwasser durch den Zufluss des Süsswassers

Digitized by Google

in 22000 Jahren erst um 0,0065 % salzhaltiger werden. Wenn wir nun auch die jährlich dem Meere zugeführte Wassermenge doppelt so gross und doppelt so salzig annehmen, als wir gethan, so wird doch erst in mehr als 10000 Jahren der Salzgehalt desselben um 0,01 % steigen. Da aber nun beständig wieder Salze aus dem Ocean ausgeschieden werden, so wird noch eine viel längere Zeit vergehen, ehe der Gehalt des Meerwassers an Salz um eine durch die Annalyse nachweisbare Grösse zunimmt.

Das Chlor- und die Chlorverbindungen, welche die Vulkane aushauchen, stammt wahrscheinlich in den meisten Fällen aus dem Meerwasser, und wenn die oben (S. 83) gemachten Voraussetzungen wirklich stattfinden, so ist der Weg angezeigt, wodurch der Kreislauf des Salzigen auf Erden vermittelt wird.

Die Kieselerde ist, wenn auch in sehr geringer Menge, in jedem Quellwasser gelöst. Manche, namentlich vulkanische Thermalquellen, enthalten sie aber in beträchtlicher Menge.

Die heissen Quellen Islands sind in dieser Beziehung untersucht, das Wasser des Geisers enthält nach Dr. Sandberger*)

---

*) Bunsen über den inneren Zusammenhang der pseudovulkanischen Erscheinungen Islands.

Digitized by Google

Kieselerde = ...	0,5097
kohlensaures Natron = . .	0,1939
„ Ammoniumoxyd =	0,0083
schwefelsaures Natron — .	0,1070
„ Kali = . .	0,0475
schwefelsaure Magnesia =	0,0042
Chlornatrium = ...	0,2521
Schwefelnatrium = . . .	0,0088
Kohlensäure = ...	0,0557
Wasser = ...	98,8128
	100,0000

Auch kohlensaure Kalk- und Talkerde sind in vielen Quellwassern enthalten; sie geben Veranlassung zu Kalktuffbildungen. Die durch die Betrachtung der Zusammensetzung der Mineralwasser genugsam bekannte Erscheinung der Löslichkeit erdiger, alkalischer und metalloxydischer Stoffe im Wasser haben *W. B.* und *R. E. Rogers* durch den Versuch zu beweisen unternommen. Sie haben Gesteins- und Mineralpulver mit reinem und mit kohlensaurem Wasser längere Zeit mazerirt und dabei oft so viel Substanz extrahirt, dass der Auszug zu einer chemischen Analyse ausreichte. Manche Zeolithe gehen dabei unverändert ins Wasser über, aus andern Mineralien wurden kieselsaure Alkalien und Erden und Metalloxyde in Menge abgeschieden. Die beiden *Rogers* fanden, dass die Kalk- und Magnesiasilikate sich vorzugsweise leicht auflösen, wodurch sich

Digitized by Google

die schnelle Zersetzung derjenigen Gesteine, welche solche Kieselsalze enthalten, erklärt.

Von 40 Theilen Hornblende löste innerhalb 48 Stunden mit Kohlensäure gesättigtes Wasser 0,355 Theile Kieselerde, Eisenoxyd, Kalkerde und Magnesia: bei 112maliger Wiedererneurung des Wassers, also in 224 Tagen, würde die sämmtliche Hornblende aufgenommen worden sein.

Dr. Struve hat schon vor langer Zeit aus Phonolith-Thon, Basalten, Graniten u. a. Gesteinen vermittelst einer eigends dazu construirten Extractionsvorrichtung, bei welcher ein beliebig hoher Druck in Anwendung gebracht werden konnte, Mineralwasserbestandtheile genau in dem Verhältnisse, wie sie in den natürlichen Mineralwassern gefunden werden, ausgezogen und dadurch den Beweis geliefert, dass die in der Erdrinde sich bewegenden Wasser *um so mehr Stoffe aufnehmen, je länger sie in derselben verweilen, und je tiefer sie in sie eindringen.* — Auch die Versuche *Forchhammers*, welcher Feldspath im papinianischen Topfe behandelt, und bei 23 Atmosphären Druck = 177,6 ° R. Hitze ihn in Kaolin umwandelte, bezeugen dieses.

Die Stoffe sind nicht alle in gleichem Maasse im Wasser auflöslich, und wenn auch nicht die absolute Unauflöslichkeit irgend einer Substanz behauptet werden kann, so besteht doch in dieser Beziehung ein grosser

Digitized by Google

Unterschied in dem Verhältnisse, in welchem sich die Stoffe mit dem Wasser verbinden.

Es scheint ein von Temperaturgraden abhängiges Verwandschaftsverhältniss zwischen dem Wasser und den Erden und Salzen zu bestehen; es wird genügen auf einige besonders auffallende Beispiele aufmerksam zu machen:

	auflöslich in Theilen Wassers.
Kieselerde α, die sogenannte unlösliche Modification	unlöslich,
„ β, die gelatinöse Modification in	1000
Kieselsaures Kali (Wasserglas)	4—5 kochendem.

Alle Silikate von Erden, Alkalien und Metalloxyden sind, wenn auch in geringem Verhältnisse, im Wasser auflöslich, es ist aber noch zu ermitteln, welche sich schwerer und welche sich weniger schwer auflösen.

Einfach kohlensaurer Kalk löst sich in 16000—24000 Theilen reinem Wasser,

„ „ „ löst sich in 1000 Theilen mit Kohlensäure imprägnirtem,

„ „ Talkerde löst sich in 742 Theilen desgl.

„ „ Baryterde löst sich in 4300 Theil. desgl.

Alle kohlensaure Alkali-Salze sind sehr leicht auflöslich, und alle kohlensaure Metalloxydulsalze lösen sich in mit Kohlensäure imprägnirten Wasser, wie die Erdensalze als doppelt kohlensaure oder Bikarbonate.

Digitized by Google

								Theilen Wassers.
Schwefelsaures	Kali	löst	sich	bei	0°	Wärme	in	11,96
„	„	„	„	„	100°	„	„	3,88
„	Natron	„	„	„	0°	„	„	8,3
„	„	„	„	„	18°	„	„	2,0
„	„	„	„	„	33°	„	„	0,3
schwefelsaure	Kalkerde	„	„	„	0°	„	„	462
„	„	„	„	„	100°	„	„	462
„	Talkerde	„	„	„	0°	„	„	4
„	„	„	„	„	100°	„	„	1,3
„	Baryterde*) soll sich erst in mehr als 210000 lösen							
„	Chlorkalium	löst	sich	bei	0°	Wärme	in	3,4
„	„	„	„	„	100°	„	„	1,7
„	„	„	„	„	0°	„	„	2,7
„	Chlornatrium	„	„	„	100°	„	„	2,7
„	Chlorkalzium	„	„	„	0°	„	„	0,5
„	Chlormagnesium	„	„	„	0°	„	„	0,658
„	„		„	„	100°	„	„	0,273

Es steht erfahrungsmässig fest, dass, wenn verschiedene Stoffe im Wasser aufgelöst sind, solche, je nach dem Grade ihrer Auflöslichkeit bei der Verdunstung des Wassers wieder abgeschieden werden.

---

*) Die Meinberger Mineralquelle enthält nach Brandes $^1/_{38400000}$ Theile schwefelsaure Baryterde. Das *Schwefelbaryum*, aus welchem Barytspath durch Oxydation entsteht, ist aber ziemlich leicht auflöslich, nicht minder *Chlorbaryum*.

Digitized by Google

Ebenso ist es durch den Versuch nachzuweisen, dass die leichter löslichen Körper die schwerer löslichen aus ihren Lösungen verdrängen.

Diese Beobachtungen berechtigen zu dem Schlusse:

„dass zahlreiche Umbildungen in der Zusammensetzung der Gesteine durch Auslaugung und Austauschung der Bestandtheile vorgehen müssen, sobald das Wasser für sich allein oder in Gemeinschaft mit Kohlensäure, Kohlenwasserstoffverbindungen und andern Agentien, die Erdrinde durchfliesst."

In hohem Grade belehrend sind in dieser Beziehung die Mittheilungen, welche *G. Bischoff* in seinem Lehrbuche der chemischen Geologie macht.

Dieser Forscher, welcher mit Erfolg den Uebergriffen einer geologischen Schule, welche aus Vorliebe für die eine Kraftäusserung der Erde die andere ver nachlässigte, entgegentritt und der chemischen Wissenschaft ihr Recht auch in der Geologie erkämpft, hat in vielen Fällen nachgewiesen, aus welchen Gesteinen die Mineralquellen ihre Bestandtheile entnehmen.

Seine Untersuchungen ergeben in Beziehung auf den Salzgehalt der Mineralquellen:

1) dass die Kohlensäure aus Spalten des Sedimentgesteines entströmt und auf in dem Erdinnern noch thätige vulkanische Vorgänge hinweist.

Digitized by Google

2) dass die Meteorwasser von oben her indringend sich mit diesen Gasströmen verbinden;

3) dass die Karbonate der Alkalien Eigenthümlichkeiten der Quellen sind, welche aus krystallinischen oder Eruptionsgesteinen entspringen und durch die Einwirkung der kohlensauren Wasser auf die Silikate jener Gesteine entstehen;

4) dass die in den Quellwassern aufgelösten Karbonate der Erden- und Metalloxyde zwar auch grossen Theils aus den krystallinischen Gesteinen, aber auch aus der Einwirkung der kohlensauren Wasser auf Sedimentgesteine abstammen;

5) dass die Chlorüre in geringer Menge ursprünglich Eigenthum der Eruptionsgesteine sind, aber die Quellen auch secundäre Kochsalzablagerungen, wie sie aus dem Meere in den Sedimenten entstanden, wieder auflösen können;

6) dass die Fluorverbindungen in den Gewässern aus den überall vorkommenden (secundären) Glimmerarten abstammen;

7) dass Brom ein steter Begleiter der Chlor- und Fluorverbindungen zu sein scheint;

8) dass die schwefelsauren Alkalien zu den primitiven Gebilden in den Eruptionsgesteinen gehören und als solche durch Meteorwasser ausgelaugt und den Quellen zugeführt werden. Schwefelsaures Kali ist seltener, als schwefelsaures Natron

Digitized by Google

Letzteres kann jedoch secundärer Entstehung sein, z. B. aus der Einwirkung von Gyps auf kohlensaures Natron hervorgegangen;

9) dass die schwefelsauren Salze von Kalk- und Bittererde durch Zersetzung der in den Eruptionsgesteinen vorkommenden Chlorüre von Kalzium und Magnesium durch schwefelsaures Natron entstehen;

10) dass die schwefelsauren Baryt- und Strontionsalze secundärer Entstehung sind.*) Kieselsaure Baryterde löst sich in 20000 Theilen Wasser und wird durch Gyps, Bittersalz, Glaubersalz zu schwefelsaurem Baryt umgewandelt. Schwefelsaurer Baryt wird durch 21° warme Wasser, wenn sie kohlensaure Alkalien enthalten, als kohlensaurer Baryt fortgeführt, beim Erkalten aber, als schwefelsaurer Baryt wieder abgesetzt. Die Strontiansalze verhalten sich ähnlich; Strontiansilikat ist in 1262 Theilen kalten Wassers löslich;

11) dass schweflige Säure und Schwefelwasserstoff, die Produkte der Vulkanizität, der Moffeten und Solfataren Schwefelsäure und sohin schwefelsaure

*) Ich habe beobachtet, dass Schwerspath, nachdem er durch kohlenstoffhaltiges Wasser zu Schwefelbaryum reducirt ist, sich in Wasser löst.

Digitized by Google

Salze zu bilden vermögen, wenn sie mit Atmosphäreluft und Wasser in Berührung kommen; dass aber auch verwitternde Kiese Gelegenheit zu solchen Bildungen geben, und Schwefelwasserstoff auch aus der Einwirkung organischer (kohlenstoffhaltiger) Substanz auf schwefelsaure Salze entstehen kann. Die Schwefelmetalle gehen hervor aus der Einwirkung des Schwefelwasserstoffs auf Metalloxyde*), oder aus der Reduction schwefelsaurer Metallsalze;

12) dass die Kieselsäure zumeist als Silikat der Alkalien oder der alkalischen Erden, auch des Eisenoxydules im Wasser aufgelöst vorkommt, und überall aus der Zersetzung der Silikate herrührt. Die Zersetzung der wasserfreien Kieselsalze beginnt mit deren Uebergang in wasserhaltige und wird sehr gefördert durch im Wasser enthaltene Kohlensäure oder Schwefelwasserstoff.

Die süssen Wasser können alle alkalische und erdige Silikate zugleich aufgelöst enthalten, während sich in kohlensaurem Wasser, so lange Kohlensäure in ihm ungebunden ist, nur Thonerdesilikat enthält. Magnesiasilikate und alkalische Silikate können neben Karbonaten und Bikarbonaten dieser Basen im Wasser gelöst sein, nicht aber Kalksilikat, weil dieses sogleich in

*) Z. v. Bunsen über die vulkanischen Processe Islands u. d. a. S.

Digitized by Google

Karbonat verwandelt wird. Die Kohlensäure ergreift den Kalk in den Kalk-Magnesiasilikaten früher, als die Magnesia; dennoch ist die letztere Erde einer der frequentesten Bestandtheile der Gewässer und bei den Pseudomorphosen werden andere Silikate sehr oft durch Magnesialsilikate verdrängt. Kieselsaure Kalkerde kann in kohlensaurem Kalk eingeschlossen, sich erhalten, weil sie daselbst gegen die Einwirkung der Kohlensäure geschützt ist. — Kalk-, Magnesia-, Eisenoxydul- u. Thonerde-Silikate kommen in grosser Anzahl als secundäre Bildungen in dem metamorphosirten Gesteinen vor; sie sind entweder gänzlich oder mindestens theilweise zugeführt, was auch von den alkalischen Bestandtheilen (der Silikate) gilt. Wenn an der Oberfläche der Erdrinde alkalische Silikate (Feldspathe) durch Meteorwasser zersetzt werden, bilden sich in der Tiefe aus alkaliärmern alkalireichere Silikate (Zeolithe, Glimmer).

Kieselsaures Eisonoxydul wird durch Sauerstoff zersetzt. Die natronhaltigen Silikate geben ursprünglich das Natrium zum Kochsalzgehalte des Meeres und der in ihm wachsenden Pflanzen; die kalihaltigen das Kali zu den Landpflanzen. In den sedimentären Formationen kommt Kali häufiger als Natron vor, in den Quellen findet aber das entgegengesetzte Verhältniss statt.

Digitized by Google

13) Dass die Phosphorsäure an Kalk gebunden in allen Sediment- und vielen Eruptionsgesteinen vorkommt. Der Apatit kann primärer und secundärer Entstehung sein. Nach den Beobachtungen von *Bromeis*, zerlegt kieselsaures Natron den Apatit während kohlensaurer Kalk und phosphorsaures Natron ihre Säuren vertauschen. Alle phosphorsauren Salze erscheinen als secundäre Bildungen durch die Zerlegung des Apatites durch kieselsaure Alkalien vermittelt.

14) Dass die im Wasser aufgelösten Stoffe sich in einer bestimmten Reihenfolge absetzen. Zuerst fallen unter der Einwirkung des Sauerstoffes die Eisen- und Manganoxydule in Oxydhydrate umgewandelt aus, nur unter vollkommenem Abschlusse der Luft können kohlensaure Eisen- u. Mangansalze mittelst kohlensaurer Kalkerde aus der Lösung gefällt werden. Alsdann scheiden sich Kalk- und Magnesiakarbonat ab.*)

Die Kieselerde wird entweder durch Verdunstung oder durch Einwirkung von Kohlensäure aus der Lösung abgeschieden. Der Inhalt der Erzgänge und Drusen ist durch Wasser aus dem Nebengesteine an seinen jetzigen Ort transportirt,

*) Wir werden weiter unten sehen, wie hauptsächlich die Einwirkung des pflanzlichen Lebens diese Fällung des einfach kohlensauren Kalkes bewirkt.

Digitized by Google

wie auch die Stoffe der Pseudomorphosen durch diesen Weg zugeführt sind.

Diese gesammelten Erfahrungen, welche alle mit den chemischen Gesetzen im Einklange stehen, geben einen Begriff von der grossen Wichtigkeit, welche das Wasser als Transportmittel bei der Entwicklung der Erde besitzt.

Es übernimmt in der rigiden Erdrinde wirklich die Rolle des Saftes in den Pflanzen, oder des Blutes in den Thieren; es löst auf, führt fort, gibt Gelegenheit zur Vermischung der Bestandtheile weit entlegener Massen, zur Neubildung; es lagert neue Gebilde ab.

Durch die auflösende Wirkung, welche das Wasser auf die Schichten der Erde äussert, entstehen Höhlungen, Erdfälle, oder es wird wohl auch nur das Gestein durch seine ganze Masse porös gemacht. Steinsalz, Gyps werden vom Wasser fortgeführt, so dass dadurch ganzen Gebirgsschichten die Unterlagen entzogen und sie zum Einsturze gebracht werden. Die Grossartigkeit und weite Ausdehnung dieser Erscheinungen haben die Meinung erweckt, sie seien die Folgen gewaltiger Erhebungen und Erschütterungen durch Vulkanismus; die Reste der Gyps- und Salzlager gelten bei dieser Ansicht als die Eruptionsmassen, obgleich sie gerade die entgegengesetzte Wirkung herbeigeführt haben und nicht selten durch organische Einschlüsse als Niederschläge aus dem Wasser bezeichnet sind.

Digitized by Google

Es werden auf diese Weise die löslichen Theile ganzer Gebirgsschichten entführt und bleiben nur die eingehüllt gewesenen, schwer löslichen Bestandtheile zurück, z. B. aus dem Steinsalz und Gyps der Thon mit Eisenoxyd gemengt, aus dem kohlensauren Kalke das Eisen- oder Manganoxyd, der Thon, die Kieselerde. Das Dach der Schichten senkt sich dabei, es entstehen Brekzien und verworrene Haufwerke von Bruchstücken, welche sich allmählig durch Eingespültes wieder verkitten.

Sind Gesteine mit Mineralien, welche sich leicht im Wasser lösen, durchsprengt, so werden nur diese fortgewaschen, wobei in der Regel die leergewordenen Räume durch andere vom Wasser zugeführte Stoffe erfüllt d. h. Pseudomorphösen gebildet werden.

Steinsalzkrystalle werden in Quarz und Thon, in Bleiglanz u. s. w., Kalkspathkrystalle in Quarz, Eisenoxydhydrat, Eisenoxyd, Speckstein u. dgl., Barytspath in Quarz etc. umgewandelt. Die Bestandtheile der eingeschlossenen organischen Reste, Knochen, Muschelschalen werden entführt und oft durch nichts anderes ersetzt. Ganze Muschelbänke erscheinen dann als Anhäufung sonderbar gestalteter Formen und da die leeren Räume dem Drucke der aufliegenden Lasten weichen, so gehen aus diesem Umstande Verschiebungen der ursprünglichen organischen Formen hervor, welche öfters die Erkennung sehr erschweren. Nicht selten aber

Digitized by Google

finden auch hier Austauschung der Stoffe statt; Schwefelkies, Zinkblende, Bleiglanz, Kalkspath, Kieselerde, Eisenoxyd, selbst Schwerspath, Flussspath und phosphorsaures Eisenoxyd nehmen die Stelle der ehemaligen Organismen ein. Wie einzelne Einschlüsse, so können auch ganze Gebirgslager, ganz oder theilweise, ausgetauscht werden. Eine gewöhnliche Erscheinung der Art ist die Pseudomorphose des Kalksteins in kohlensaures Eisenoxydul, Eisenoxyd oder Eisenoxydhydrat in Quarz oder Hornstein, Kieselschiefer, Jaspis oder dessen Umwandlung in Dolomit.

Einzelne Gesteine, welche gemischt sind aus Substanzen, die der Einwirkung der Atmosphärilien in verschiedenem Grade widerstehen, geben Veranlassung zur Auflösung und Fortwaschung der am leichtesten zersetzbaren. Ich erinnere an die Laven, an den Basalt. Wenn die Augit- und Labradorkrystalle unter dem Einflusse des Sauerstoffes und des kohlensäuerlichen Wassers erliegen, so scheidet sich kohlensaurer Kalk, kohlensaure Bittererde, kieselsaures Kali und Natron u. s. w. aus, sie werden vom Wasser fortgeführt und kieselsaure Thonerde und Eisenoxydulhydrat (Lehm und Thon) bleiben zurück. Es bilden sich so aus Feldspathlagern Kaolinlager; aus Trachyt, Phonolith, Melaphir und Basalt, Wacken, erdige Gesteine mit zahlreichen Einschlüssen wasserhaltiger Silikate (Zeolithe) und kohlensaurer Salze (Sphärosiderith, Kalkspath, Arragonit u. s. w.)

Digitized by Google

In vielen Fällen veranlassen entgegenströmende Gasarten in dem die Gesteinschichten durchsickernden mit Stoffen aller Art beladenen Wasser Niederschläge, es erfolgen dadurch Neubildungen, Entwickelung neuer Zwischenschichten, und da diese einen neuen Raum beanspruchen, Zusammenpressung der schon vorhandenen Schichten, oder wohl gar allmählige Hebungen.

In den schlammigen Fumarolenpfuhlen Islands bewirkt das aufsteigende Schwefelwasserstoffgas, indem es mit kohlensaurem Eisenoxydul oder kohlensaurem Kalke, welche in dem Wasser der Pfühle gelöst sind, in Berührung kommt, die Bildung von Schwefelkies oder von Gyps. Beide Substanzen lagern sich ab zwischen den Lamellen des Fumarolen-Thones, und da beide Räume erfüllen, die sie sich erst erringen müssen, so drängen sie die nebenliegenden Substanzen zusammen. *Bunsen* hat, wie S. 69 erwähnt ist, auf Island beobachtet, dass diese Schichten mit Ansatz weniger Krystalle beginnen. Um diese Anfänge sammeln sich durch elektrische Attraktion, aus den sehr verdünnten Solutionen neue Theile an und aus deren allmähligem Wachsthume entsteht ein Lager spathigen Gypses, welches die überliegenden Thonbänke stark zusammenpresst und verdichtet. Eine andere Stoffzuname durch circulirendes Wasser mag durch die Wärme vermittelt werden. Ich habe beobachtet (S. 83), dass Thon durch zusickerndes kieselsaures Kobaldoxydul-Kali (Schmalteglas) in starker Rothglühhitze zu einem krystallinischen, den Labrador-

Digitized by Google

gesteinen ähnlichen Gebilde sich verändern kann; es wird also auch angenommen werden dürfen: dass, sobald in die Tiefen der Erde, wo immerwährend hohe Hitzgraden herrschen, das mit Chlornatrium und Chlorkalzium, kohlensaurem, schwefelsaurem Kali, Natron, Kalk beladene Wasser eindringt, (im vorhergehenden Abschnitte über die Vulkanizität gegebene Berechnungen weisen die Möglichkeit dieses Versinkens des Wassers bis in Tiefen, wo mehr als 100° Wärme herrscht, nach) noch andere chemische Prozesse vorgehen müssen, als wir bei geringerer Hitze zu sehen gewohnt sind. Wir wissen, dass in hohen Hitzegraden die Kieselerde eine austreibende Gewalt auf die mit den Basen verbundenen Säuren, welche Dampf- oder Gasform anzunehmen im Stande sind, ausübt. Es sind solche Erfahrungen auf allen Schmelzhütten genug gemacht worden um darauf ein Gesetz begründen zu können, wozu die Berechtigung um so mehr vorliegt, seit Bunsen durch Versuche bewiesen hat, dass der *Druck*, selbst der höchste nicht, die chemischen Verwandschaften, welche aus der Wärme hervorgehen, in irgend einer Weise abändert.*)

Sobald in den erhitzten Tiefen Kiesel- und Thonerde, oder Gesteine, welche saure Silikate enthalten, mit den durch das einsickernde Wasser zugeführten

*) Bunsen in den Anal. der Chemie und Pharmacie, Band LXV. S. 82.

Digitized by Google

Chlorüren des Natriums, Kaliums, Kalziums, Magnesiums, mit den kohlen- und schwefelsauren Salzen der Alkalien und Erden in Berührung kommen, scheiden sich Chlor, Kohlensäure und Schwefelsäure aus, indem sich die Basen der genannten Salze mit der Kiesel- und Thonerde zu Silikaten verbinden. Auch wenn im Wasser aufgelöste Kieselerde oder Silikate mit einer Kalksteinlage unter einer Temperatur von 100° in Berührung kommen, so bilden sich Silikate von Kalkerde unter Abscheidung von Kohlensäure.

Das Resultat dieser Prozesse ist die Entstehung krystallinischer Gesteine aus Sedimenten. Es können Thonschiefer, Thon, Sandstein und Sand zu Gneus, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer, Feldsteinporphyr, Schaalsteine u. s. w. umgewandelt werden, wenn sich Kali, Natron, Kalkerde mit ihnen verbindet. Dass wirklich solche Umwandlungen aus Sedimenten in krystallinische Schiefer-Gesteine stattfinden, ist erwiesen durch die organischen Einschlüsse, welche sich in letzteren, den „metamorphosirten Gesteinen" finden.

Wenn jene Sedimente durch Zuführung von Stoffen krystallinische Formen annehmen, so müssen sie sich in derselben Weise vergrössern, als die Gypslager in den isländischen Fumarolenthonen, sie müssen die aufliegenden Schichten aufheben, nach Aussen drängen. Dadurch entstehen sehr allmählige, aber stetige Hebungen ausgedehnter Stücke der Erdrinde.

Digitized by Google

Endlich wird noch durch Verdunstung des Auflösungsmittels durch Einwirkung von Atmosphäre-Luft und Sauerstoff die Abscheidung des gelösten kohlensauren Kalkes, des Eisen- und Manganoxyd-Hydrates in Höhlen, Klüften und Zwischenräumen der Gesteine bewirkt, ohne dass dafür ein andrer Stoff ausgetauscht würde. Diese Oeffnungen, welche öfters das Wasser in der Erde auswäscht, werden sohin auch wieder vom Wasser verschlossen.

Die Betrachtung der Pseudomorphosen des Mineralreiches lässt erkennen, dass ausser den eben berührten Fällen, wo entweder der ganze Inhalt eines Minerals entführt, resp. durch einen andern ersetzt, oder nichts des Inhaltes hinweggenommen, aber neue Substanz zugeführt wird, noch ein dritter vorkommt, bei welchem Stofftheile gegen andere ausgetauscht werden.

Die Glimmerarten, die Granaten, der Epidot, der Idokras, die Zeolithe u. v. a. sind entstanden, indem Stofftheile eines ursprünglichen Minerals durch Wasser und Kohlensäure entführt und durch andere ersetzt sind.

Bei der Verwandlung des Labradors in Glimmer wird Kalk und Natron gegen Kali, oder Kali und Magnesia ausgewechselt, und bei der des Augites in Magnesia-Glimmer wird Eisenoxydul und Kalkerde gegen Kali und Magnesia vertauscht. Kohlensaures Kali in Wasser gelösst wird das Kalksilikat des Labradors

Digitized by Google

und des Augites zersetzen, indem sich Kalisilikat bildet und kohlensaure Kalkerde auflöst.

Der auf diese Weise gebildete Glimmer nimmt den Raum des Labrador- oder Augitkrystalles ein, woraus wir eben erkennen, dass er wirklich eine Verwandlung jener ursprünglichen Mineralien ist. In vielen Fällen wird aber diese Krystallform nicht mehr kenntlich sein, entweder weil die umgewandelten Gesteinstheile nicht krystallisirt waren, oder weil andere Einflüsse (Reibung, Zertrümmerung) die ursprüngliche Form zerstörten.

Wenn saure Gase auf ein Eruptionsgestein (z. B. Trachyt), welches vorzugsweise aus Feldspath besteht, einwirken, so muss die Verbindung der Silikate aufgehoben werden. Es gehen aus diesem Prozesse Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorkalzium, Chloralumium, Alaun, Gyps, kohlensaures Kali, Natron, kohlensaure Kalkerde u. s. w. hervor, welche weggewaschen werden, während Kieselerde oder bei alleiniger Einwirkung von kohlensauren Gasen Kiesel und Thonerde zurück bleiben.

Auch ein Antheil Kieselerde wird aufgenommen um als Opal, Kalzedon u. dgl. an andern Orten wieder abgesetzt zu werden. Das Wasser, welches jene Substanzen auflöst, enthält, wenn es schon andere Gesteine durchlaufen hat, jedenfalls allerlei Stoffe; es wird also bei längerm Verweilen und langsamer Bewegung, welche nothwendig in den porösen Gesteinen eintreten muss,

Digitized by Google

sich mit den leicht löslichen jener Salze zuerst verbinden und die schon mitgebrachten schwerlöslichen dagegen austauschen. Es kann somit aus Trachyt ein Gestein hervorgehen, welches wie der Feldsitporphyr aus Feldspath und Quarz gemengt erscheint, oder welches selbst fast nur aus Kieselerde besteht, wie die mächtigen Quarzfelsablagerungen Südamerikas.

Wenn auf ein Augit-Labradorgestein, wie Diorit, Melaphyr, Basalt oder Lava Kohlensäure und Schwefelwasserstoff-Gas einwirkt, so werden Karbonate von Kali, Natron, Kalk, Magnesia, Eisenoxydul frei, es werden Schwefeleisen, und, wenn Sauerstoff zutreten kann, schwefelsaure Salze jener Basen gebildet. Die zusickernden Wasser werden die leichtlöslichsten Salze gegen mitgebrachte schwerlöslichere austauschen; sie werden Kali und Natron gegen Kalk verwechseln. Wenn nur Theile des Gesteines, welche den Spaltenwänden, auf denen die Gase aufsteigen, zunächst liegen, zersetzt wurden, so entstehen Gemenge aus unzersetztem Augit-Labrador mit Quarz und kohlensaurem Kalke oder selbst abwechselnde Lagen von quarzhaltigem Augit-Labradorgestein mit Kalkstein, der, weil er sich zum Theil aus einer Flüssigkeit abschied, krystallinische oder körnige Form annimmt.

Kohlensaures Eisenoxydul konnte gelöst und auf geeigneten Stellen gegen Kali ausgetauscht werden, es entstanden Spatheisensteinlager, welche durch Einwir-

Digitized by Google

kung röstend wirkender heisser Wasserdämpfe in Magneteisen oder Eisenoxydlager überführt wurden.

Wenn im Verlauf der Zeiten die Vulkanizität an diesen Punkten tiefer zurücksank und die Meteorwasser allein einwirkten, mussten zugeführte Silikate die Bildung von allerlei krystallisirten Mineralien im körnigen Kalke bewirken.

Nachdem am flachen, sumpfigen Ufer eines Meeres ein Kalklager durch die Einwirkung der Organismen auf die im Wasser gelöste Kalkerde gebildet war, kam solches in Berührung mit Chlormagnesium, welches bekanntlich im Meerwasser enthalten ist. Es tauschten kohlensaure Kalkerde und Chlormagnesium ihre elektronegativen Bestandtheile aus und es entstand kohlensaure Kalk-Bittererde (Dolomit), indem sich Chlorkalzium in der Flüssigkeit löste.

Diese wenigen Beispiele mögen zeigen auf wie mannigfache Weise die Umbildung der Gesteine durch das mit Salzen beladene Wasser hervorgebracht werden könne, schliesslich soll nur noch Einiges über die Hergänge in den Drusenräumen und Gängen angeführt werden.

Wo sich hohle Räume, seien sie gross oder klein, rund, oval, gleichausgedehnt in ihren Dimensionen oder spaltenförmig, in den Gesteinen vorfinden, da bestrebt sich das Stoffe zuführende Wasser solche zu erfüllen. Die Höhlen, Drusen, Gang- und Kluftwände, die un-

Digitized by Google

regelmässigen Zwischenräume zwischen den einzelnen Geschieben des Grandes erfüllen sich alle gleichmässig mit den Niederschlägen aus dem Wasser.

Die Stoffe werden entweder aus weiter Ferne herbeigeführt, oder sie werden aus dem Nebengesteine entnommen. Wenn der Labrador des Basaltes durch kohlensaure Wasser zersetzt wird, entsteht kohlensaure Kalkerde, die fortgeführt, auf dieselbe Weise an den Wänden eines Drusenraumes, wie an denen einer Gangkluft oder einer Höhle sich in Krystallform ansammelt, weil hier elektrische Zustände, welche aus dem Gegensatze der Oberflächen zu den Massen hervorgehen, die Ausscheidung des Stoffes veranlassen. Ragt erst ein Krystallspitzchen, über einer Unebenheit der Fläche gebildet, hervor, so versammelt es durch Anziehung selbst aus verdünnter Lösung gleichartige Theile und wächst und bildet sich zu einem grössern Krystalle aus. Oder es wirken chemische Kräfte allein, denn gleichzeitig mit dem doppelt-kohlensauren Kalke löst sich kieselsaures Kali oder Natron, welches auf dem Wege, den sie gemeinschaftlich zurücklegen, dem ersten ein Atom Kohlensäure entziehend, die Absetzung von einfach kohlensaurem Kalke und Kieselerde (Opal) bedingt, während kohlensaure Alkalien fortgeführt werden.

Ist einmal aller Kalk ausgezogen, so beginnt die Auflösung des im Gesteine enthaltenen Eisenoxydules. Sobald dieses auf seinem Wege über kohlensauren Kalk

Digitized by Google

geführt wird, tauscht es sich gegen letztern aus. Es entsteht Sphärosiderit an der Stelle des Kalkspathes. Auf Holzresten abgesetzte Zeolithe werden in den Braunkohlenlagern des Westerwaldes häufig gefunden, es unterliegt daher keinem Zweifel, dass dieses Mineral, welches so häufig als Ausfüllung von Drusenräumen in vulkanischen Gesteinen vorkommt, aus Wasser abgesetzt ist. Es ist bekannt, dass die schwefelsaure Thonerde sowohl, als auch das schwefelsaure Kali, beide sehr leicht im Wasser aufgelöst werden, dass aber bei deren Vereinigung der weit schwerer auflösliche Alaun entsteht, und dass eben auf der Schwerlöslichkeit des Alauns dessen Gewinnung resp. Abscheidung aus der Vitriole von Thonerde und Eisenoxydul enthaltenden Lauge beruht. Ein ähnliches Verhältniss besteht vielleicht bei den Doppelverbindungen von Thonerdesilikat und Kalk-, oder Kali-, oder Natronsilikat mit Krystallwasser, welche in der Mineralogie Zeolithe genannt werden.

In den vulkanischen Gesteinen findet das Wasser überall Gelegenheit kieselsaure Salze aufzunehmen; begegnen sich zwei Flüssigkeiten, von denen die eine Kiesel und Thonerde, die andere Kiesel und Natron, oder Kiesel und Kalk enthält, so ist die Abscheidung und Krystallisation von Zeolith leicht möglich. Wir begegnen den Zeolithen nur in zersetzten vulkanischen Gesteinen, ein Zeichen, dass sie nie ursprüngliche Bildungen sind; desshalb auch der Schluss gerechtfertigt,

Digitized by Google

dass sie, welche mit Kalkspath und Sphärosiderit die Drusenräume erfüllen, welche oft auf Gängen im Sedimentgesteine vorkommen, durch Wasser zugeführte Mineralien sind.

Die Kieselerde (der krystallisirte Quarz) ist so häufig als Versteinerungsmittel von Pflanzen und Thierresten, dass sie als ein vom Wasser zugeführter Stoff angesehen werden muss. Wenn wir nun auf Drusenräumen und Gängen Quarzkrystalle finden, welche bei einer oft sehr bedeutenden Grösse aus unzähligen übereinander gelagerten Lamellen bestehen, so dass sie durch Erwärmen und Anschlagen in mehrere in einanderpassende Stücke, wie in einandergesetzte Gefässe zerfallen, so werden wir nicht umhin können, anzunehmen, dass das Material zu diesen Krystallen nach und nach durch Wasser zugeführt sei und dass sich die Krystalle auf dieselbe Weise vergrössert haben müssen, wie sich auf den Gradirwerken der Salinen die Dicke der um die Dornen abgelagerten Kalk- oder Gypskrusten vermehrt. Ueber diese Quarzkrystalle hin, oder selbst abwechselnd mit deren Lamellen sind oft Brauneisenstein, Manganoxydhydrat, Kupferlasur, Malachit, Schwerspath, Kalkspath, Bleiglanz u. v. a. Mineralien abgelagert und auskrystallisirt. In vielen Fällen ist es möglich die Spuren dieser Mineralien in den Gesteinen, welche die Drusen und Gänge begrenzen, nachzuweisen. Die Riechelsdörfer Kobalterzgänge schliessen z. B. Schwerspath, Kalkspath, Bitterspath, Gyps, Anhydrit, Quarz, Speis-

Digitized by Google

kobalt, Arseniknikel, Kupferkies, Schwefelkies und deren Zersetzungsprodukte ein. Sie durchschneiden den Kalk des Zechsteins, welcher sich durch seinen Reichthum an Baryt auszeichnet und die Dolomite u. Gypslager dieser Formation; reichen einerseits bis in den bunten Sandstein hinein, anderer Seits bis zum Rothliegenden herab; es ist also ihr Erdengehalt nichts Auffallendes, denn alle Elemente dazu sind im Nebengesteine reichlich enthalten. Aber auch der Ursprung ihres Metallgehaltes *ist* nachzuweisen in der schwachen Lage des Kupferschiefers, welchen sie durchsetzen. Diese Gebirgsart enthält ausser Schwefelkupfer und Schwefeleisen, Arsenkobalt, Arsennikel und Schwefelmolybdän, etwas Schwefelsilber, Bleiglanz und Zinkblende. Alle diese Verbindungen sind, sobald sie sich mit Sauerstoff vereinigen, im Wasser auflöslich, und konnten, den Gängen zugeführt, durch reduzirend wirkende Stoffe ähnlicher Art, wie die, welche auf dem Kupferschieferlager ihre Reduktion bewirkten, oder durch elektrische Vorgänge ihres Sauerstoffs und dadurch ihrer Löslichkeit beraubt werden.

Schon während und nach vollendeter Erfüllung der Gangspalte wurden Stoffe ausgetauscht, Pseudomorphosen gebildet und diese Hergänge sehen wir sich heute noch in den durch den Bergbau eröffneten leeren Räumen erneuern, Kalksinter durch arsensaure oder kohlensaure Metall-Salze purpurroth, grün und blau gefärbt, Pharmakolith, Gyps bedecken deren Wände und füllen sie allmählig aus.

Digitized by Google

3. Die Atmosphäre.

Die luftförmige Hülle des Erdsphäroides ist bekanntlich der Hauptsache nach zusammengesetzt aus Stickstoff und Sauerstoff, welchen nur ganz geringe Mengen Kohlensäure und Ammoniak und veränderliche Quantitäten Wasserdampf beigemengt sind. Schon durch die oxydirende Wirkung, welche ihr Sauerstoff überall ausübt, gewinnt die Atmosphäreluft für die Geologie eine hohe Bedeutung, von welcher wir uns durch die Betrachtung des rostenden Eisens, der von aussen nach innen fortschreitenden Farbänderung der Gesteine eine Vorstellung machen können.

An solchen Gesteinen, welche kohlensaures Eisenoxydul enthalten, w. z. B. viele Kalksteine, Schieferthone, und thonige Sandsteine, stellen sich oft ringförmige Farbenzeichnungen ein, welche von der säuernden Wirkung der Atmosphäreluft herrühren. An den Flächen

Digitized by Google

der Absonderungsstücke wird Sauerstoff aufgenommen, welcher die Kohlensäure austreibend das Eisenoxydul zu Eisenoxyd verbrennt, das sich alsdann in der Regel mit Wasser zu Gelbeisenstein verbindet. In der Mitte der Stücke findet sich meist noch ein sphäroidischer Kern Fig. 13. farblosen oder ursprünglich gefärbten Gesteines, welches mit nach innen verwaschenen gelben Kreisen und Ringen umzogen ist. Wenn Haarspalten und Klüftchen die Absonderungsstücke durchsetzen, so entstehen oft schöne Zeichnungen, Wölkungen, wie sie der im Bette des Arno sich findende florentinische Ruinen-Marmor besitzt, und wie sie manchen Jaspisarten zustehen.

An der Oberfläche aller Gesteine, welche der weitern Oxydation fähige Bestandtheile enthalten, wird die Einwirkung des Sauerstoffs bemerklich. Das Eisenoxyduloxyd des Basaltes, Dolorites, Grünsteins u. s. w. wird zu Braun- und Gelbeisenstein, wodurch die grüne oder schwarze Farbe der Felsarten in eine braune oder gelbe verwandelt, die Masse durch aufgenommenen Sauerstoff vermehrt und eine Zerberstung der nach Aussen aufquellenden Substanzen hervorgebracht wird. Es ist dieses die eigentlich sogenannte Verwitterung, welche den Verband der Bestandtheile lösend, ein mächtiges Zerstörungsmittel der festesten Gesteine ist. Wenn aber im Innern poröser oder locker gebundener Schichten durch Aufnahme von Sauerstoff Vermehrung der Massenbestandtheile erfolgt, so werden die Zwischen-

Digitized by Google

räume erfüllt und durch innigeres Aneinanderschliessen der Theile grössere Festigkeit hervorgebracht.

Der mit dem eindringenden Wasser ins Innere der Gebirgsmassen geführte Sauerstoff der Luft oxydirt auch dort. Er verwandelt Schwefelmetalle in Vitriole, Arsenmetalle in arsensaure Salze, Metalle in Oxyde und befördert dadurch Wirkungen des Wassers, er verbrennt eingeschlossene organische Substanzen und ist dadurch bei der Metamorphose der Gesteine behülflich, denn die aus jener Verbrennung hervorgehenden Säuren wirken auflösend und umbildend auf die Silikate.

Wenn wir die Elemente derjenigen Körper betrachten, welche vorzugsweise die Erdrinde zusammensetzen, Kiesel, Labrador, Feldspath, Augit und Hornblende, Glimmer, Kalkstein, Eisenoxyd, Wasser, so finden wir, dass der Sauerstoff, welcher in allen über die Hälfte des Gewichtes ausmacht, den grössten Antheil an der Zusammensetzung des Erdkörpers nimmt. In den Alkalien, den Erdarten und deren kohlensauren und kieselsauren Salzen ist er scheinbar fest und unwandelbar gebunden.

Ich hebe es hervor, dass dieses Verhältniss nur ein scheinbares ist, denn sobald diese Körper bei niederen Temperaturgraden der Einwirkung des Chlores unterliegen, wird der Sauerstoff der basischen Bestandtheile derselben entwickelt, und wenn auch an Wasserstoff oder Kohlenstoff gebunden, doch aufs Neue in

Digitized by Google

eine Form gebracht, aus welcher er durch die in den Pflanzen und Thieren thätigen chemischen Prozesse wieder frei gemacht und dem Luftkreise zurück gegeben werden kann. Der Sauerstoff der Metalloxyde und Metallsalze und selbst der der schwefelsauren Alkalien und Erden wird durch kohlenstoffhaltiges (Quellsalzsäure, Quellsäure) Wasser als Kohlensäure dem Luftkreise zurück gegeben. Diese Abscheidung geht in der Natur an unzähligen Punkten vor. Nur der an Kieselerde gebundene Sauerstoff scheint für den Kreislauf verloren zu sein. Wir müssen aber hier wieder in Erinnerung bringen, dass gerade die Kieselsäure es ist, welche die in die heissen Tiefen der Erde eindringenden Chlorverbindungen aufhebt und Chlor frei machend, die Entfesselung des in den Basen der Silikate gebundenen Sauerstoffs an andern Punkten vermittelt.

Wir sehen sohin auch hier eine Aufeinanderfolge der Bindung und Wiederausscheidung von Stoffen, einen sich ewig erneuernden Wechsel der Formen, welcher das immerwährende Bestehen der Dinge verheisst.

Das Ammoniak, welches im Dunstkreise vorhanden ist, wirkt, wenn es an der Erdoberfläche in den porösen Erdschichten zu Salpetersäure verbrennt, auf die Bildung von schwefelsaurem Kalk, Kali und Natron hin. Diese bekanntlich für die Kriegskunst, wie für

Digitized by Google

den Bergbau gleichwichtigen Mineralien können aber vom Wasser in die Tiefe geführt, durch Schwefelsäure oder Chlor zerlegt säuernd auf viele Metalle wirken und dadurch die Umwandlung der Gesteine in hohem Grade befördern. Ueber den Einfluss der Kohlensäure und anderer gasförmiger Säuren auf die Erdrinde haben wir oben schon bei der Betrachtung der vulkanischen Erscheinungen hingewiesen.

Die luftförmige Umhüllung der Erde dient bekanntlich als Transportweg für das verdunstende Wasser, sie nimmt in dieser Beziehung grossen Antheil an der Umgestaltung des Irdischen. Alles aus dem Meere aufsteigende Wasser würde ohne die Luftströmungen, welche wir Winde nennen, wieder ins Meer zurückfallen, und somit endlich das Festland zu einer wasserlosen Wüste werden.

Die Winde treiben aber das sich über dem Meere bildende Gewölk auf das Festland und vermitteln, indem sie es den kältern Gebirgen zuführen, den atmosphärischen Niederschlag, den Regen- und Schneefall und die mit dieser Wassercirkulation im Zusammenhang stehenden oben angeführten Erscheinungen. Die heftigern Luftströmungen, besonders diejenigen, welche Sturmwind genannt werden, üben aber auch eine fortschleudernde Gewalt auf lockere Sandmassen aus, treiben sie vor sich her und führen sie von einem Orte zum andern.

Digitized by Google

Bei Gelegenheit der Dünenbildungen haben wir diese Wirkungsweise des Windes schon kennen gelernt. In den der Vegetation entbehrenden Wüsten werden die losen Flugsandhaufwerke durch den Samum aufgehoben und mit furchtbarer Gewalt in weite Entfernung geschleudert. Wirbelnd bewegt sich der Staub in die Höhe, grosse Säulen bildend schreitet die Staubwolke vorwärts und begräbt bei ihrem Niederfallen die im Sturm erstickte Carawane, die in der Wüste jagenden Thiere sammt ihrer Beute. Auch in bebauten Landschaften sehen wir täglich wie der Wind Staub transportirt, wie er dadurch die Vermischung der Erdbestandtheile befördert. So unbedeutend nun auch jeder einzelne derartige Fall erscheint, im grossen Ganzen ist er wichtig und viele solcher kleinen Ereignisse bilden eine bedeutende Erscheinung.

Digitized by Google

4. Pflanzen und Thiere.

Die Pflanzen sind abhängig von dem Standorte, welchen sie einnehmen; sie sind in Bau und Wesen verschieden, je nach dem Klima in und dem Boden auf welchem sie wachsen. Dasselbe gilt im Allgemeinen für die Thiere; besonders auffallend ist der Unterschied zwischen Land- und Wasser-Bewohnern.

Pflanzen und Thiere haben ausser den luftförmigen Stoffen, welche sie zu ihrem Bau und zu ihrer Nahrung benutzen, bestimmte mineralische Stoffe, wenn auch in nur geringer Menge nöthig; es sind die Bestandtheile ihres Körpers, welche wir in ihrer Asche finden, und die sie der Erde unmittelbar oder mittelbar entnehmen.

Die Pflanzen sammeln aus dem Boden vorzugsweise Alkalisalze, namentlich Kali und Natron, dann Kalk, Thonerde, Kieselerde, die Säuren von Phosphor,

Digitized by Google

Schwefel, Chlor und Fluor auf; sie treffen je nach ihrer Art eine Auswahl unter diesen Stoffen, so, dass man z. B. Kali-, Natron-, Kalk-, Kieselerde-Pflanzen unterscheiden könnte, wenn man die vorwaltenden Bestandtheile der Asche bei der Eintheilung berücksichtigen wollte, und es ist besonders beachtenswerth, dass Kalipflanzen auf einem Boden wachsend, welcher nur Spuren dieses Stoffes, dagegen reichlich Natron enthält, von letzterem fast nichts aufnehmen. Wenn die Pflanzen zerfallen, verwesen, so müssen ihre erdigen Bestandtheile dem Boden zurück gegeben werden. Die Alkalikarbonate werden dann zur Verwandlung der unauflöslichen Modifikation der Kieselsäure in die lösliche beitragen; die Entstehung von Opal, Kalzedon und Quarz, sowie die Entwickelung von Silikaten in der Erdrinde wird hierdurch theilweise bedingt und unterstützt.

Diejenigen Pflanzen, welche viele schwefelsaure Salze enthalten, wie die im Meere wachsenden Tange, geben bei ihrer Fäulniss Veranlassung zur Entwickelung von Schwefelwasserstoff und dadurch zur Bildung von allerlei zwei- und einfachen Schwefelmetallen. Dieser Hergang kann an den Meeresküsten, wo eisenhaltiges Wasser sich in Buchten ergiesst, die durch Wind und Meerströmungen mit losgerissenen Fucusarten versorgt werden, so grosse Ausdehnung gewinnen, dass der nahe Meeresboden mit Schwefelkieskrystallen und Krusten, welche den Sand und die Gerölle verkitten, überdeckt wird. Dass auf diese Weise zu allen Zeiten

Digitized by Google

Schwefelmetalle entstanden sind, ist aus den Lagerungsverhältnissen zu erweissen.

In den Thonschiefern und Sandsteinen der ältesten Sedimente schon trifft man in unmittelbarer Nähe von mehr oder weniger wohl erhaltenen Tangresten das Gestein erfüllt mit Schwefelkieswürfeln oder mit deren Formen, welche durch Umwandlungsprozesse grossen Theils mit Brauneisenstein erfüllt sind. (*Hausberg* und *Münster* bei *Butzbach*.)

In der Steinkohle, in allen Braunkohlen und im Torfe findet sich ebenfalls Schwefelkies, nicht weniger im sogenannten Kupferschiefer, wo er gemeinschaftlich mit vielen andern Schwefelmetallen, neben Algen und Farren mit thierischen Ueberresten einbricht. Da wir ihn und andere ähnliche Verbindungen so oft mit Pflanzenresten zusammen finden, so liegt es nahe die Entstehung der Schwefelmetalle, welche in mitten der Gebirgsschichten mit Kohlenstoff gemeinschaftlich vorkommen, auf gleiche Weise zu erklären. Aber selbst, wenn kein Kohlenstoff mehr in den Gesteinen nachgewiesen werden kann, ist doch in vielen Fällen die Annahme gerechtfertigt, dass die Fäulnissprodukte der Pflanzen und Thiere an der Bildung der in ihnen vorkommenden Schwefelmetalle grossen Antheil genommen haben; denn wir beobachten an Quellen, welche schwefelsaure Salze aufgelöst enthalten, noch heute durch den reduzirenden Einfluss organischer Substanzen die Bil-

Digitized by Google

dung von Schwefelwasserstoff und Schwefeleisen und sind berechtigt daraus zu schliessen, dass überall gleiche Wirkungen hervorgehen werden, wo gleiche ursächliche Bedingungen eintreten.

Die Produkte der Fäulniss von Pflanzen sind bekanntlich andere, als die der Verwesung. Im ersteren Falle entstehen Kohlenwasserstoff, Kohlenoxyd, Kohlensäure, Schwefelwssserstoff und Wasser, indessen Kohle zurück bleibt; während bei ungehindertem Zutritt des Sauerstoffes zu verwesenden (oder verbrennenden) Vegetabilien sich nur Kohlensäure und Wasser bilden.

Wenn Pflanzen unter Wasserbedeckung, unter Schlamm und Schutt begraben, faulen, so zerfallen sie in Zwischenstufen, welche stets ärmer und ärmer an Wasser und Sauerstoff werden; es sind: Torf, bituminöses Holz, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit, oder Sandkohle und Graphit.

Nachstehende Zusammenstellung gibt ein Bild des Herganges beim Zerfallen der Holzfaser und bei ihrer Umwandlung in die genannten Mineralien.

Digitized by Google

Holz.	Torf.	Braunkohle.		Steinkohle.		Sandkohle.
		Bituminöses Holz.	Erdige Braunkohle.	Splinthkohle.	Cannelkohle.	
36 C. 44 H. 22 O.*)	33C. 40H. 14O.	33C. 42H. 16O.	32C. 30H. 9O.	24C. 26H. O.	20C. 18H. O.	40C. 16H. O.
dazu 33 At. Kohlensäure	3 „ 0 „ 6 „					oder
2 „ Wasser.	— „ 4 „ 2 „					20 C. 8H. $^1/_2$ O.
	36C. 44H. 22O.					
Dazu mit aufgenommenem Sauerstoff als Wasser verflüchtigt	—	— „ 2 „ — „				
und 3 Atm. Kohlensäure	—	3 „ — „ 6 „				
		36C. 44H. 22O.				
Wenn als Wasser mit hinzugetretenem Sauerstoff verflüchtigt sind			— „ 4 „ — „			
und entwichen als Wasser			— „ 6 „ 3 „			
„ „ „ Kohlensäure			1 „ — „ 2 „			
So haben wir die Zusammensetzung des Torfes: .			33C. 40H. 14O.			
Wenn von der erdigen Braunkohle				32C. 30H. 9O.		aus 2 At. Cannelkohlen.
durch hinzutretenden Sauerstoff verbrennen				— „ 4 „ — „		
verbrennen				4 „ — „ — „		40 C. 36H. 2 O. verflüchtigen sich als Wasser.
und ausserdem als Kohlensäure flüchtig werden				4 „ — „ 8 „		
				8 „ 4 „ 8 „		2 H. 1 O. u. durch hinzutretenden Sauerstoff.
so bleibt die Zusammensetzung der Splintkohle				24C. 26H. O.		18 H.
Von der Splinthkohle scheiden sich aus 4 Atom ölbildendes Gas .				—	4C. 8H. —	
Es bleibt Cannelkohle				—	20C. 18H. O.	— 20 H. 1 O.
			Es bleibt Sandkohle			40 C. 16 H. O.
Verbrennt hiervon noch durch zutretenden Sauerstoff						— „ 14 „ —
und verflüchtigt sich						— „ 2 „ O.
				so bleibt Graphit		C. „ — „ —

*) C. chemisches Zeichen für Kohlenstoff; H. desgl. für Wasserstoff; O. desgl. für Sauerstoff.
Die oberste Zahlen- und Zeichenreihe giebt die chemische Zusammensetzung des Holzes, Torfes, der Braun-, Stein- und Sandkohle an.

Digitized by Google

In den Braunkohlenniederlagen wurden noch nie sogenannte schlagende oder brennende Wetter, d. h. Kohlenwasserstoff und Grubengas beobachtet, während Kohlensäureexhalationen (Stickwetter) in ihnen nicht selten sind.

Die Steinkohlenlager sind aber bekanntlich ausgezeichnet durch die in ihnen vorkommenden, den Bergleuten so grosse Gefahr bringenden, brennbaren Gase. Aus der vorhergehenden Zusammenstellung geht hervor, dass bei der Umwandlung der Braunkohlen in Splinthkohlen sich kein Kohlenwasserstoff entwickeln wird, dass aber bei der fortschreitenden Umwandlung der Steinkohlen oelbildendes Gas aus den Bestandtheilen der Kohlen selbst hervorgehen.

In denjenigen Theilen der Torfmoore von Enkheim bei Frankfurt a. M., welche seit etwa 20 Jahren abgebaut wurden, und seit ihrer Entleerung unter Wasser geblieben sind, hat sich aufs Neue ein Torflager gebildet, welches schon mehr als 4 Fuss dick ist. — Die Sümpfe sind mit Rohr bewachsen, dessen über Wasser stehende Stengel alljährlich zu technischen und landwirthschaftlichen Zwecken abgeschnitten werden, so dass nur die unter Wasser stehenden Stümpfe einen geringen Antheil an der Torfbildung nehmen können. Eine weit unbedeutendere Pflanze, eine Wasserlinse (Lemna trisulca) ist die hauptsächlichste Veranlassung zur Bildung dieser Kohlenablagerung.

Digitized by Google

Dieses kleine, mit fast schwarzgrünen, kreuzweise gestellten Blättchen versehene Pflänzchen wächst ganz im Wasser eingetaucht, und hebt sich nur während seiner Blüthezeit an die Luft empor um dann auf den Boden zu sinken und Torf zu werden. Es bildet dichte, verfilzte Lagen, zwischen denen abgestorbene Wasserschnecken, zufällig durch Sturm vom Ufer des Sumpfes hereingeworfene Baumstämme, begraben liegen. Auch andere Wasserpflanzen nehmen Antheil an dieser Bildung. Ein Torfmoor bei Münzenberg in der Wetterau scheint vorzugsweise hervorgegangen zu sein aus abgestorbenen Vaucherien und andern Conferven. Es ist an manchen Stellen in papierdünne Blättchen abgetheilt, ganz so, als wenn alljährlich ein neuer Filz der Vaucherien sich auf die schon abgestorbenen heruntergelegt hätte.

Der Boden von solchen Gräben, welche der Standort von Wasserfäden, Wassermoosen sind, in denen auch kieselumrindete Diatomeen genug wachsen, ist von einer oft dicken Lage Moor bedeckt, welcher gepresst und getrocknet erdiger Braunkohle nicht unähnlich sieht.

Auf unsern Bergen, besonders auf Basalt- und Granitboden, finden sich ganze Plateaus, bedeckt mit Torf, der aus Moos besteht. Sphagnum cymbifolium und Sphagnum cuspidatum wachsen wie alle Moose an den Spitzen fort, wenn die untern Theile absterben.

Digitized by Google

Sie bilden dichte Filze, in denen sich das Wasser sammelt, und die vermodernd zu Torf werden. So entstehen auf den Bergeshöhen Hügel aus Kohlenstoff, welche an günstigen Stellen der hohen Rhön z. B. mehr als 40 Fuss in der senkrechten Dimension messen.

In den Ebenen jenseits des nördlichen Polarkreises wachsen nur Flechten (Stereocaulon, Cenomyce, Cladonia, Cetraria) und Moose, welche aber so dicht aneinanderstehen, dass sie fast eine zusammenhängende Masse, eine Tafel von Holzfaser bilden. Diese Flechten wachsen bekanntlich beständig an ihren Spitzen neue Glieder ansetzend weiter, während im Verlaufe der Zeit die ältern Glieder absterben und an trocknen Stellen sich in eine Humusschicht, an feuchten Punkten in Torf verwandeln. Die Tundra, die morastige Ebene Sibiriens, wird sohin eine reiche Niederlage der aus der Erdatmosphäre durch Pflanzenwachsthum abgeschiedenen Gase (Kohlensäure und Wasser). Auch auf dem Südpole näheren Inseln Oceaniens sind Torfbildungen aus Flechten und Moosen von E. Dieffenbach beobachtet worden. In Nordamerika sind ausgedehnte Sümpfe, in welchen Cypressen wachsen. Das faulende Holz dieser Pflanze bildet im Vereine mit andern faulenden Stoffen und mit Wasser durchtränkt, sehr ausgedehnte Torfschichten, welche kein Mensch ohne Gefahr des Lebens betreten kann. — Die aus der Fäulniss dieser niedern Pflanzen hervorgehenden Kohlenablagerungen werden vermehrt durch die in die Sümpfe gefallene Baumstämme,

Digitized by Google

oder wenn die Bildung in Buchten grösserer Seen oder Meere stattfand, durch angeschwemmte Vegetabilien.

Das Treibholz, welches die grossen Flüsse Süd- und Nordamerikas dem Ocean zuführen, wird zum Theil an den Mündungen in den Deltas begraben, zum Theil aber auch von den Strömungen des Meeres (dem Golfstrome) fortgeführt, um im hohen Norden geländet, oder unter Schlammabsätzen verschüttet zu werden.

Alle Sedimentgesteine sind voll zahlreicher Spuren untergegangener Pflanzen; das Meer selbst ist der Standort vieler Gewächse, viele werden vom Lande in dasselbe hineingeschlemmt; es kann nicht anders sein, als dass wir in den Absätzen aus Wasser Pflanzenreste auffinden. Manche Ablagerungen sind über Pflanzen erfolgt, welche als Filter auf eine getrübte Flüssigkeit eingewirkt haben; diese sind, wie es nicht anders erwartet werden kann, durch ihre ganze Masse erfüllt mit organischen Einschlüssen. Wir wollen nun sehen, auf welche Weise diese Pflanzenreste in den Gesteinen wirken. So lange die Pflanzensubstanz noch viel Sauerstoff enthält, ist deren Einwirkung auf das umhüllende Gestein nur durch die entweichende Kohlensäure von Bedeutung. Dieses bei der Pflanzenfäulniss entwickelnde Gas wirkt auf die Silikate zerlegend, auf Karbonate und Phosphate auflösend und vermittelt dadurch den Wechsel der Stoffe. Sobald die Pflanzenreste in den Grad der Fäulniss übergegangen sind, in

Digitized by Google

welchem sie Kohlenwasserstoffverbindungen ausgeben, beginnt die *reduzirende Wirkung* derselben.

Wenn die entwickelten Kohlenwasserstoff-Gase oder andere Produkte der Fäulniss, Quellsäure oder Quellsatzsäure u. s. w. im Wasser aufgelöst die Gesteine durchdringen, so entziehen sie allen leichter reduzirbaren Oxyden Sauerstoff. Sie verwandeln Eisenoxyd in Eisenoxydul, Kupferoxydul in Kupfer, sie reduziren Vitriole von Eisen, Kupfer, Blei und Zink zu Magneteisen und Schwefelkupfer, Bleikies und Zinkblende, verwandeln den Gyps in Schwefelkalzium, den Schwerspath in Schwefelbarium und veranlassen dadurch die Entwickelung von Schwefelwasserstoff. Bei allen diesen Vorgängen verbrennt die Kohle zu Kohlensäure, der Wasserstoff zu Wasser. Die gebildete Kohlensäure dient alsbald wieder als Lösungsmittel für Eisenoxydul, Kalkerde u. s. w.

Für das Auge wird diese Wirkungsweise der faulenden Pflanzen bemerkbar durch die Veränderung der Farbe der Gesteine. Rothe, gelbe, eisenoxydhaltige Schichten werden gebleicht, weiss. Das Eisen wird als Oxydul mit Kohlensäure verbunden ausgewaschen, und so ist es möglich, dass aus dem Zersetzungsprodukte des Basaltes, dem eisenhaltigen labradorischen Lehm ein reiner weisser Porzellanthon entstehen kann, dass rother Sandstein in einen blendend weissen Sand umgewandelt wird.

Digitized by Google

In den Thonen trifft man oft wolkige Färbungen, weisse Aderungen zwischen grünen und gelben Flammen, deren Entstehung sich erklärt durch die Bewegung kohlenstoffhaltigen Wassers in den Thonlagern. Der frühere Eisenoxydhydratgehalt ist theilweise in grünfärbendes Eisenoxydoxydul oder kohlensaures Eisenoxydul verwandelt, theilweise schon als doppeltkohlensaures Eisenoxydul gelöst, vom Wasser entführt. Je vollkommener diese Auslaugung vor sich gegangen ist, desto reiner weiss ist der Thon. — Aehnliche Erscheinungen beobachten wir im Sand und Sandstein; die Schichten dieser Massen, welche Pflanzenreste einhüllten, sind grau oder weiss, während die zunächst darüber oder darunter liegenden oft tief roth gefärbt sind.

Die reduzirende Wirkung, welche die faulenden Fucusarten am Meeresstrande ausüben, haben wir oben schon kennen gelernt, es ist daselbst auch schon erwähnt worden, wie in kohlenhaltigen Schichten Schwefel- und Arsenmetalle entstanden sind. Es kann daher nicht in Erstaunen setzen, wenn wir Holz und Früchte, thierische Reste (Fische und Mollusken) ganz und gar in Schwefelkupfer, Schwefelblei, Schwefelzink, Schwefeleisen u. s. w. umgewandelt in den Erdschichten begraben finden.

Asphalt und Erdöl (Naphta) sind besonders wirksam als Reductionsmittel, sie kommen in manchen Gegenden in ausserordentlicher Verbreitung und Menge

Digitized by Google

vor und erscheinen als die Produkte der Zersetzung von vegetabilischen Resten. Ob dabei die vulkanische Wärme mitgewirkt, ist noch nicht erwiesen. Beide Stoffe im Wasser suspendirt können tief ins Innere der Schichten eingeführt werden und daselbst auf Kosten reduktionsfähiger Substanzen verbrennen. Auf diese Weise sind Pflanzen und Thiere noch lange nach ihrem Tode wirksam an der Entwickelung der Erde. Sie vermitteln den Kreislauf des Sauerstoffes; denn ohne die reduzirende Kraft ihrer Fäulnissprodukte würde dieses Element von den oxydationsfähigen Metallen verschluckt, gebunden und dem Kreislauf des Lebens auf immer entzogen in den Tiefen der Erde ruhen. Wo aber der zerfallende Thier- und Pflanzenleib in den Erdschichten hingebettet ist, wo das Wasser die aus ihm entstehenden Kohlenwasserstoff-Verbindungen hinführt, da wird Metalloxyden und Salzen der Sauerstoff entzogen und Kohlensäure gebildet, die als Gas, oder an Wasser gebunden, theilweise zu mannigfachen Umbildungen der Erdrinde, theilweise aber auch zur Ernährung der Pflanzen dient. Die Pflanze scheidet durch ihre Organe aus Wasser und Kohlensäure, den Sauerstoff, die Lebensluft für alle Thiere und den Menschen aus, um ihn der Atmosphäre wieder zuzuführen.

Die Thiere geben der Erdrinde ausser den Kohlenstoff-, Wasserstoff-, Stickstoff-, Sauerstoffverbindungen ihres Leibes auch noch erdige Bestandtheile zurück.

Digitized by Google

Das, was die höheren Thierklassen, die Wirbelthiere, in dieser Beziehung zum Baue der Gebirgslager beitragen, ist von sehr geringer Bedeutung, weil die Zahl der höhern Thiere bekanntlich gegen die der niedern ausserordentlich zurück steht. Haarthiere, Vögel, Reptilien, Lurche und Fische haben zwar alle ihre oft kolossalen Knochengerüste in den Erdschichten als Denkmale ihrer einstigen Existenz niedergelegt, hier und da sind grosse Höhlungen und Spalten, manche, wenn auch dünne Schichten erfüllt mit solchen Resten; im Verhältniss zur Masse der von Mollusken, Korallen und Foraminiferen (Schnörkelkorallen) gebildeten Gesteine verschwinden aber jene Bildungen als äusserst kleinlich.

Die Foraminiferen (Polythalaminen, im Meerwasser lebende Thierchen, welche sich mit einer Kalkschale umgeben, durch deren Oeffnungen sie ihre Fangarme strecken) gesellen sich in vielfach gestaltete Gruppen zusammen. Sie finden sich Nautiliten-, Ammoniten-, Bulimus-, Planorbisarten ähnlich, so dass man im vorigen Jahrhundert in ihnen den Samen der Schnecken zu finden wähnte. Diese meist mikroskopischen Thierchen vermehren sich wie alle niedern Organismen unglaublich schnell und dadurch ist es möglich, dass ihre Gehäuse mächtige Schichten zusammensetzen können. Nach d'Orbigny enthält eine Unze Meeressand der Antillen 3,840,000 solcher Foraminiferenschälchen: wenn ein Kubikfuss dieses Sandes nur 100 Pfund wiegt, so

Digitized by Google

sind darin 5000 Millionen Individuen enthalten. Wie unzählig viele Leben müssen also vergangen sein um dem Meerwasser eine Kalkschicht von nur 100 Fuss Dicke und nur eine Quadratmeile Fläche bedeckend abzugewinnen?

Die Foraminiferen, welche bis jetzt in den Gesteinen beobachtet wurden, sind nicht immer grösser als die von d'Orbigny lebend beobachteten; von denjenigen, welche den Pariser Grobkalk seiner ganzen Masse nach zusammensetzen (Miliola), gehen 4600 Millionen auf den Kubikfuss, manche erreichen aber auch die Grösse von 1, 2 und mehreren Linien bis zu 1 u. 2 Zollen. Namentlich sind die in den ältesten Schichten beobachteten Graptolithus seratus, G. Ludensis, G. scalaris u. s. w. Die grössten, denen die Nummuliten oder Linsensteinen der Kreide an Grösse nahe kommen. Da die Schalen dieser Geschöpfe äusserst zerbrechlich sind und in den Gesteinen vorgehende Prozesse selbst grosse Moluskengehäuse unkenntlich machen, so ist sehr leicht denkbar, dass auch die ältesten Kalke, ebenso wie Kreide und Grobkalk grossen Theils aus Foraminiferen-Resten bestanden haben können; dass aber im Laufe der Zeit die feinen Gebäude zerstört, oder durch verkittende Einseihungen undeutlich gemacht worden sind.

Jetzt noch wird viel kalkiger Sand, Mergel u. dgl. am Meeresboden durch Foraminiferen gebildet. Der Sand der Wüste Sahel soll grössten Theils aus solchen

Digitized by Google

Gehäusen bestehen. Die Foraminiferen scheinen sich allen Zuständen der Erde fügen zu können; wir beobachten in ältern und jüngern Gebirgsablagerungen Formen, welche noch jetzt lebend gefunden werden in Vereinigung mit längst verschwundenen höher organisirten Wesen. Die Infussionsthierchen besitzen in der Regel keine Panzer, welche der Zerstörung widerstehen, nur die sogenannten Kranzthierchen (Peridinida) bauen sich Kieselpanzer, welche an der Zusammensetzung der Feuersteine und Kieselkalke der Kreide Theil nehmen. Alles, was man sonst früher als Kieselpanzer von Infusorien ansahe, sind Kieselhüllen von mikroskopischen Pflanzen (Diatomeen).

Fester als die Foraminiferen führen die Korallen ihre Kalkgebäude auf. In den tropischen Meeren bauen Röhrenkorallen dicht nebeneinander ihre Riffe. Durch neuere Forschungen ist bekannt geworden, dass das Ei der Korallenthierchen im Innern der Korallenstöcke befruchtet in das grosse Meer ausgestossen eine Zeitlang durch Winperhaare sich fortbewegend frei herumschwimmt, sich dann auf den Boden festsetzt und wie es von einem mikroskopischen Punkte aus seine Felsen bauende Thätigkeit beginnt. Es pflanzt sich fort durch Theilung, durch Knospung und durch Eier. Sobald ein Individuum sich festgesetzt hat, beginnt es eine Kalkausscheidung, womit es sich fest anheftet. Je nach der Art der Polypen entwickelt sich eine Axe, um welche sich, wie um das Mark eines Baumes, Zelle an

Digitized by Google

Zelle für die neu entstehenden Thierchen anreiht, oder es entwickeln sich auf der Fläche fort Zelle an Zelle, wodurch gewissermassen ein Rasen von Polypen den Fels überzieht. Stets geht diese Fortbildung nach einem Gesetze, welchem die Zahl *sechs* zu Grunde gelegt zu sein scheint, wesshalb man die Polypen zu den Strahlthieren (Radiata) rechnet.

Immer dichter wird dieser Rasen; er erhöht sich indem neue Thiere auf den ältern tieferliegenden Zellen, deren Bewohner abgestorben sind, ihre Wohnstätten aufführen. Es werden in den wärmeren Meeren solche Korallenstücke von 12, 15, 25, ja mehr als 600 Fuss Dicke gefunden. Die Koralleninseln des indischen und Austral-Meeres sind von ihnen gebaut, die grossen Riffe der Südsee, welche sich auf 200 deutsche Meilen weit erstrecken und mehr als 12 Meilen Breite haben, verdanken ihnen ihre Entstehung. Die kleinen, nackten, vielfarbigen, vielgestalteten Thierchen leben nur an der Oberfläche der Riffe; $^1/_2$ bis $^3/_4$ Zoll tief unter der Fläche ist der Stock schon abgestorben, und viele Millionen Individuen gehören dazu um eine kaum 6 Linien dicke und eine Quadratruthe grosse Lamellen zu bilden. Das ganze Gebäude ist ein Gewebe von Zellchen, welche alle mit einander kommuniziren. In der stärksten Brandung, die das Meer an den kaum einen Fuss unter der Oberfläche versenkten Riffen erzeugt, leben diese zarten Wesen. Zwischen die abgestorbenen Stöcke wird Schlamm, werden Foraminiferen-

Digitized by Google

gehäuse Muschelschalen gespült, es heften sich Schwämme, Seelilien (Enkriniten, Cyathophyllen, u. dgl.) daran und vermehren die Masse, die endlich zu festem Fels werdend, der wüthendsten Brandung der Meereswogen, welche das stärkste Schiff im Nu zerbricht, widerstehen.

Darwin hat beobachtet, dass die Riffe bauenden Polypen nicht in sehr grosser Tiefe des Meeres leben können; er fand 20 Faden unter der Oberfläche als das Maximum. Da es nun Koralleninseln und Riffe gibt, welche fast senkrechte Mauern von vielen Hunderten von Fussen bilden, so muss an solchen Stellen eine allmählige Senkung des Meeresbodens angenommen werden; es müssen die Korallen an der Oberfläche stets neue Lamellen von Kalk absetzen, während die leeren Wohnungen ihrer Ahnen der Tiefe zusinken. Hierdurch erklärt sich die Form und das ganze Wesen der Koralleninseln mit ihren Atolls.

Wenn der Boden des Meeres sinkt, muss sich der Gipfel der Inseln endlich unter dem Spiegel des Wassers verbergen **Fig. 14 u. Fig. 15.** War die Insel ein vulkanischer Berg, so konnten sich Korallen auf dem Rande des Kraters anbauen und sank dieser immer tiefer und tiefer, so entstand endlich ein ringförmiges Korallenriff mit einem innern See (Atoll). Hatten sich Korallen an der Küste einer Insel angesiedelt, so wuchs in dem Maasse, als der Boden der Tiefe zusank, ein ringförmiger Wall um die Insel herum, wie **Fig. 16 u. 17** verdeutlichen. Wo Bäche in das Meer fliessen, verhin-

Digitized by Google

dert das süsse Wasser und der Schlamm das Leben der Polypen, desshalb sind an solchen Stellen die Riffe unterbrochen. Solche Erscheinungen sind längs der Vulkanen-Kette Oceaniens in sehr ausgedehntem Maasse sichtbar, und da, wie wir oben schon (bei Betrachtung der vulkanischen Erscheinungen) nachgewiesen haben, in der Nähe der Punkte der Erdoberfläche, wo durch Eruptionen stets neue Massen aus der Tiefe gefördert werden, allmählige Senkungen entstehen müssen, so ist hier der rechte und günstigste Standpunkt für die Bauwerke jener Polypen. Wir finden desshalb auf beiden Seiten der vulkanischen Eilande Oceaniens die ausgedehntesten Gürtel der Koralleneilande und Riffe.

Die Malediven, Laccadiven u. a. Koralleneilande des indischen Oceans erscheinen zumeist als ringförmige mit Atolls versehene Inseln, sie sind vielleicht auf eben so vielen versunkenen Kratern entstanden. Die Atolls und innere Lagunen der Koralleninseln und Riffe werden nie vom Sturm bewegt, sie sind ein Zufluchtsort für zahlreiche Crustaceen, Muschelthiere, Seesterne und andere von den Polypen lebenden Seethieren, welche hier gelegentlich ihre Hüllen zurücklassen. Die in den kalten Meeren lebenden Korallen bauen keine Riffe, viele erzeugen selbst nur eine hornige Hülle; sie haben daher einen geringern Werth in Beziehung auf die Produktion von Gebirgslagern, obgleich auch sie Antheil nehmen an der Fixirung der im Meerwasser gelöst enthaltenen Stoffe.

Digitized by Google

In allen aus dem gesalzenen Wasser abgesetzten Kalksteinschichten, von ältesten Grauwackenkalke an bis zu den jüngsten Formationen, finden wir zahlreiche Polypengebäude; in manchen Gegenden hat man selbst mit Bestimmtheit zusammenhängende Korallenriffe, jetzt Theile hoch über die allgemeine Meeresbedeckung gehobenen Festlandes bildend, erkannt. Die Formen dieser Polypen sind äusserst mannigfaltig; man kennt an 1000 fossile Arten, welche sich grossentheils durch eine unsichere Zellenabschliessung und einen unbestimmteren Verlauf der Wirbellamellen von den jetzt lebenden unterscheiden. Andere Strahlthiere, die Seelilien, Seesterne, Holothurien, Seeigel, vermehren ebenfalls durch ihre Kalkschalen und Kalkgerüste die Masse der kalkigen Niederschläge; sie sind aber nicht im Stande ganze Gebirgsschichten zu erzeugen; ihre Reste sind nur gelegentlich zusammengespült oder da, wo sie gerade beim Tode des Thieres hingefallen, im Schlamme begraben worden. Dasselbe gilt für die meisten Mollusken. Alle diejenigen Weichthiere, welche im Meere frei herumschwimmen, finden sich vereinzelt in den Absätzen aus dem Wasser; während nur die am Strande lebenden, und diejenigen, welche in Gesellschaft an dem Boden festgeheftet Muschelbänke bilden, einzelne Lagen der Gebirgsgesteine zusammensetzen. Wir beobachten jetzt noch in den Meeren auf Meilen weite Erstreckung Austernbänke, auf denen eine Auster neben der andern festgewachsen liegt, oder in den Schlamm versenkt dicht

Digitized by Google

an einander gedrängt, die Sandpfeifen und Meerscheiden (Solen), die Fingermuscheln (Pholaden), welche sich selbst in Gesteine einbohren, die Sandmuscheln (Mya), die Gienmuscheln (Chama, Venus), und die im Süsswasser lebenden zweischaligen Maler- und Entenmuscheln (Unio).

Ebenso finden wir in den jüngsten, aufs Trockene gehobenen Meeresabsätzen, dem sogenannten Grobkalke in vielfältigem Wechsel 2 bis 3 Fuss dicke Kalkschichten, die fast nur aus Mytilus- oder Venus- oder Ostrea-Schalen bestehen, abwechselnd mit Thon- und Sandlagen von geringer Stärke, in denen theilweise Bruchstücke derselben Muscheln oder auch eingeschwemmte Landconchiliengehäuse vorkommen. Nicht weniger häufig sind diese Vorkommnisse in den älteren Meeresabsätzen: Perlenmuscheln (Avicula), Mymuscheln, Austern, überhaupt solche Conchiferen, welche entweder träge sich kaum von der Stelle bewegen, oder die durch ihren Bissus an Felsen oder den Boden sich festheften, oder die gar mit ihrer einen Schale an den Grund so festwachsen, dass sie den genauesten Abdruck etwa darunter liegender anderer Muscheln u. s. w. geben, sind zu mehr oder weniger starken Muschelbänken vereinigt, die Zwischenräume sind erfüllt durch Korallen, Seelilien und anderer Strahlthiere Bauwerke, durch die Gehäuse der Foraminiferen oder durch Inkrustationen von Pflanzen. Auch die Brachiopoden (Armfüssler), welche jetzt in grösserer Meerestiefe (bis 500') sich

Digitized by Google

durch einen Muskelstiel an Felsen aufhängen, finden sich gesellschaftlich in den Gebirgsschichten; so die Terebratula-, Productus-, Spirifer-Arten. Von Gastropoden oder eigentlichen Schnecken, welche frei im Wasser umherschwimmen, kommen nur die pflanzenfressenden (Litorinellen oder Paludinen, Cerithien) zu ganzen Schichten vereinigt vor. Andere sind nur gelegentlich durch Bewegung der Meereswogen am Strande in buntem Gemische zusammengespült.

Dasselbe gilt von den seltenen Pteropoden, und den ehemals in grösserer Anzahl als jetzt die Meere durchschwimmenden Gliederwürmern (Annelida), welche als Belemniten, Dentaculiten, Ceratiten, Goniatiten, Amoniten, Lituiten, Orthoceratiten, Nautiliten die Aufmerksamkeit der Naturforscher in hohem Grade in Anspruch nehmen.

Alle diese Thiere entziehen dem Meerwasser Kalkerde zu ihren Schalen. *G. Bischoff**) hat es versucht zu bestimmen, wie sich das Gewicht des kohlensauren Kalkes der Schalen einer Auster zu ihrem Körper verhält; er fand, dass die Schale 2,78 bis 7,57 mal so schwer ist, als das Thier, und nimmt an, dass dieselbe ganz aus dem im Meerwasser unter Beihülfe von Kohlensäure *aufgelösten einfach kohlensaurem Kalke* bestehe,

*) Chemische Geologie Band I. S. 970.

Digitized by Google

den das Thier während des Durchganges durch seine Verdauungs- und Blutlaufswerkzeuge absorbire und auf seiner Oberhaut abscheide.

Bischoff nimmt den Kalkgehalt des Meerwassers zu $^1/_{10000}$ an und berechnet, dass das Wasser, welches eine Auster durch ihren Körper leiten muss, um das Gewicht ihrer Schale an kohlensaurem Kalk zu erlangen, mindestens 5,2 bis 8,9 Kubikfuss oder das 27760 bis 75714 fache der Körperschwere dieses Thieres betrage, wobei vorausgesetzt ist, dass die ganze Menge des in diesem Meerwasser gelösten neutralen Kalkkarbonates absorbirt wird.

Es ist nach den oben (Seite 118) mitgetheilten Analysen nun aber zweifelhaft, ob alle Meere kohlensaure Kalkerde enthalten, während doch alle Muschelthiere und Schnecken, Korallen, Strahlthiere, Fische u. s. w. nicht allein kohlensaure, sondern auch phosphorsaure Kalkerde in ihren Gehäusen und Knochen ausscheiden.

Um zu zeigen, in welchen Verhältnissen diese Erden in den festen thierischen Bestandtheilen stehen, gebe ich folgende Zusammenstellung:

Digitized by Google

	Kabeljau. Schädelknochen. *Chevreul.*	**Squalus cornubius.** Knochen.	Knorbel. *Marchand.*	**Haizähne.** *Lassaigne.*	**Austernschalen.** *Buchholz und Brandis.*	**Korallen.** Millipornen, *Amphiroa tribulus.* *Tamour.*
Organ. Substanzen .	43,94	57,07	78,46	33,50	0,5	6,40
Phosphorsaure Kalkerde .	47,96	32,46	14,20	52,60	1,2	0,27 Phosphorsäure
„ Talkerde	2,00	1,03	Spur	—	—	0,39 Kali
Schwefelsaure Kalkerde .	—	1,87	0,83	—	—	0,20
„ Natron .	—	0,80	0,70	—	—	0,89 Natron
Kohlensaure Kalkerde .	5,50	2,75	2,61	13,90	98,6	70,83
„ Talkerde	—	—	—	—	—	16,99
Chlornatrium . . .	0,60	3,00	2,46	—	—	0,34 Chlor
Fluorkalzium, Kieselerde, Thonerde, Eisenoxyd	—	1,20	0,71	—	0,2 Thonerde	0,93 Schwefelsäure 1,38 Feuchtigkeit
	100,00	100 00	99,97	100,00	100,5	98,81

Digitized by Google

Die Fleischtheile, der Blutsaft und die Nerven der Thiere enthalten ausser Stickstoff, Kohlenstoff, Sauerstoff und Wasserstoff, noch Schwefel, Phosphor, Alkalien, Erden und Metalloxyde. Alle diese Stoffe müssen sie, die ganz im Wasser untergetauchten unmittelbar oder mittelbar — durch die Pflanzen- oder Moder-Nahrung, welche sie geniessen — erhalten, da kein Thier ein Element in das andere verwandeln kann. Die chemischen Verbindungen aber, in denen sie jene Stoffe aufnehmen, sind ohne Zweifel ganz verschieden von denen, in welchen sie sie wieder von sich geben, denn auch in den Körpern dieser Thiere müssen, so lange sie Leben haben, die aufgenommenen Stoffe den chemischen Prozessen, welche die Athmung in den organischen Geweben hervorbringt, folgen. Da nun auch diese Thiere Kohlensäure und Ammon ausscheiden werden, wie alle andere Thiere es thun, so können und müssen sie in den Geweben ihres Organismus, welche dazu geeignet sind, den schwefelsauren Kalk, das Chlorkalzium des verschluckten Meerwassers in schwerlösliche neutrale kohlensaure Kalkerde verwandeln, während sich leicht lösliches schwefelsaures Ammon und Salmiak bilden.

Letztere Salze dienen wieder den Pflanzen des Meeres zur Nahrung. Ich glaube desshalb die Ansicht aufstellen zu müssen, *dass die im Wasser lebenden Thiere weniger den doppelt kohlensauren, als vielmehr den schwefelsauren Kalk und das Chlorkalzium des Meeres und*

Digitized by Google

des süssen Wassers in einfach kohlensauren (und phosphorsauren) umgewandelt, ausscheiden.

Nach *Marcet* enthält das Wasser des hohen Meeres keine kohlensauren, wohl aber viel schwefelsaure und Chlor-Salze, als 0,1508 pC. schwefelsaure Kalkerde, 0,2460 pC. schwefelsaure Talkerde. Auch in allen andern Meerwassern sind diese beiden Salzen oder Chlorkalzium gefunden worden, nicht immer aber kohlensaure Salze, welche vielmehr Eigenthümlichkeiten einzelner Meerestheile zu sein und von der Zuströmung der Flüsse und dem Boden der Küste abzuhängen scheinen.

Nehmen wir an das Wasser der Nordsee enthielte (wie *Clemm* ermittelte) 0,1200 pC. schwefelsaure Kalkerde, 0,04992 pC. Kalkerde, welche mit 1 Atom Kohlensäure 0,0884 neutrale kohlensaure Kalkerde geben kann, so würde eine Auster, deren Schalen 451 Gran wiegen, während ihr Körper 92 Gran schwer ist, nur 66 bis 67 Pfund Wasser oder etwa das 5500fache Gewicht ihres Körpers durch sich hindurch führen müssen, wenn aller schwefelsaure Kalk in Karbonat umgewandelt würde. Jedenfalls erhält aber die Auster einen grossen Antheil Kalk durch ihre Nahrung, welche bestehen wird aus den im Wasser schwebenden Foraminiferen, Infussorien, Diatomeen und vielleicht auch aus Fischeiern, Abgängen der Thiere u. s. w. Da diese unbekannten Factoren mit in Rechnung kommen, so kann auf die eben versuchte Weise nicht nachgewiesen

Digitized by Google

werden, wie viel von dem die Auster umgebenden Medium nöthig ist, den Kalk ihrer Schale zu erzeugen. Es kann nur annähernd geschlossen werden, dass davon im Verhältniss zur Körpergrösse des Thieres sehr viel erfordert wird; da gewiss nur der Antheil Gyps, den das Thier verschluckt und verdaut, nicht aber der, den es durch seine Athemwerkzeuge streichen lässt, in Kalkkarbonate verwandelt wird. Die Ausscheidung des Kalkes der Schalen geschieht nach *Oken*, welcher darüber die ersten Beobachtungen anstellte, durch die Haut des Mantels der Schnecke, so dass die Schale an ihren Enden wächst, wenn das Thier an Grösse zunimmt.

Auch die Strahlthiere scheinen nur an gewissen Theilen ihrer Oberhaut Kalkkarbonat auszuscheiden, auch sie geben in ihren Gehäusen genaue Abdrücke ihrer äusseren Körperformen.

Darwin theilt über das Wachsen der Korallenstücke mit, dass der Kupferbeschlag eines Schiffes schon nach 20 Monaten 2 Fuss dick mit Korallen überzogen gewesen, dass ein gestrandetes Schiff nach 50 Jahren ganz von Korallen überwuchert sei, und dass in kurzer Zeit in die Riffe gebrochene Kanäle wieder zuwuchsen. Wenn der Boden des Theiles des Oceans, in welchem die mächtigsten Korallenriffe beobachtet werden, nur eben so schnell sinkt, als sich die Küste Norwegens hebt, oder als die Schwedens sinkt, so werden die

Digitized by Google

Korallenthiere alle 100 Jahre nur 4 Fuss oder alle Jahre $5^3/_4$ Linien wachsen müssen, um stets in gleicher Höhe unter dem Meeresspiegel zu bleiben.

Jedenfalls entziehen die im Meere lebenden *Thiere* dem Wasser eine nicht unbedeutende Menge Kalkerde, und dass diese dadurch bleibend ausgeschieden werde, ersehen wir an den in den Meeresabsätzen niedergelegten Resten jener organischen Wesen.

Aber auch die *Pflanzen*, welche im Wasser wachsen, bewirken eine Umänderung der Zusammensetzung des sie umspülenden Fluidums.

Es ist allgemein bekannt, dass die Pflanzen die aufgenommenen luftförmigen Stoffe, Ammon, Kohlensäure und das Wasser zu eigenthümlichen festen Verbindungen zu vereinigen vermögen. Ebenso bekannt ist es, dass, während die Entwickelung der Thiere mit einer immerwährenden Sauerstoffaufnahme verbunden ist, die Pflanzenentwickelung gerade umgekehrt eine Ausscheidung des Sauerstoffes aus Kohlensäure und Wasser bewirkt, und dass nur die Blüthen Sauerstoff absorbiren. Es ist demnach ein Unterscheidungsmerkmal für die Pflanze, dass sie Sauerstoff ausscheidet, während alle Thiere Kohlensäure aushauchen. Die kieselschaligen Diatomeen müssen desshalb, da auch sie Sauerstoff aussondern, zu den Pflanzen gestellt werden, wie es auch *Kützing* gethan hat.

Digitized by Google

Wenn eine Pflanze mit all ihren Blättern im Wasser eingetaucht ist, so kann sie die zu ihrer Ernährung nöthigen Bestandtheile nur aus dem Wasser entnehmen. Findet sie Kohlensäure in demselben in freiem Zustande oder in weniger fester Vereinigung mit andern Substanzen, welche sie nicht in ihre Zusammensetzung aufnehmen kann, vor, so wird sie diese Säure absorbiren, beziehungsweise aus diesen Verbindungen abscheiden. Die Pflanze zerlegt die aufgesogene Kohlensäure, scheidet Sauerstoff gasförmig aus und benutzt den Kohlenstoff zu ihrem Zellgewebe. Sind die eines Atoms Kohlensäure beraubten Verbindungen als neutrale Salze noch im Wasser auflöslich, so bleiben sie dem Wasser beigemischt, sind sie aber unlöslich, wie kohlensaure Kalk- und Talkerde, so scheiden sie sich alsbald, und in dem Maasse, als sie zerlegt werden, aus und geben einen krystallinischen Ueberzug auf den Pflanzentheilen, welche ihnen das Atom Säure, das zu ihrer Löslichkeit erfordert wurde, entzogen. Auch der Sauerstoff, welcher aus der Verwendung der Kohlensäure zum Pflanzenkörper hervorging, beginnt zu wirken. Er oxydirt Eisen- und Manganoxydulsalze, wandelt sie in Eisen- und Manganoxydsalze um und da letztere weniger Neigung zur Vereinigung mit Kohlensäure haben, als erstere, so vermittelt er die Abscheidung der mit den Oxydulen verbunden gewesenen Kohlensäure, welche dann alsbald auch von der Pflanze aufgenommen wird.

Digitized by Google

Diese Vorgänge beobachtete ich an mehreren Orten. An den Abhängen des schwarzen Schlages bei *Ahlersbach* in der Nähe von Schlüchtern in Hessen bilden sich Kalktufflager*), indem sehr kalkarme Quellwasser über Moos (Hypnum tamariscinum) rinnen. Die Quellen entspringen unter dem Muschelkalke im Mergel des Buntsandsteines. Das Moos grünt oben aufs Kräftigste fort, während seine ältern Theile in kohlensaure Kalkerde eingebettet, absterben, in dem Kalktuffe aber ihre Formen zurücklassen.

Gelegentlich werden auch Schachtelhalme (Equisetum sylvaticum) mit in die Inkrustation verwickelt und wenn Blätter, Aeste, selbst Baumstämme auf das Moos fallen, von ihm überwuchert werden, so werden sie in die Kalktuffablagerung eingeschlossen. Alle Holztheile verschwinden von Wasser fortgeführt, es bleiben die genauesten Abdrücke der umhüllt gewesenen Formen zurück. Die Landschneckengehäuse von noch in der Nähe lebenden Arten sind ebenfalls in diese Kalktuffablagerung versenkt, nicht weniger Spinneneier, Schneckeneier, Käfer u. d. gl.

So lange das Moos von der Quelle mit Wasser durchtränkt werden kann, geht diese Bildung in dem Grade weiter fort, als die wachsenden Pflanzen Kohlensäure

*) R. Ludwig über das Kalktufflager bei Ahlersbach. — Jahresbericht der Wetterauer Naturforscher-Gesellschaft $18^{47}/_{50}$.

Digitized by Google

aus dem Wasser absorbiren. Dass nicht aller Kalk bei diesem Prozesse gefällt wird, sieht man an den Inkrustationen der Wassermoose (Fontinalis antipyretica), welche in dem aus dem neuen Kalktufflager unten abfliessenden Wasser fortkommen. Der Kalküberzug dieser letzteren Moose beweist zugleich, dass seine Abscheidung nicht durch Verdunstung bewirkt wird, denn da er unter Wasser statt findet, so kann bei seiner Bildung keine Verdunstung gedacht werden. Der Kalkgehalt des Wassers ist ziemlich gering = 0,0541 pCt.

In der Nähe finden sich noch ähnliche Kalktuff lager, welche sich ebenfalls als Moosinkrustation erweisen, deren Bildung aber unterbrochen ist, weil der den Wachsthum des Mooses befördernde Wald, der früher ihre Stätte bedeckte, ausgereutet und ihre Oberfläche in Ackerfeld verwandelt ist.

Bei *Butzbach* (genauer zw. Münster und Espa am Hausberge) entspringen mehrere Quellen aus dem Orthocerasschiefer, der durch Strigocephalenkalk überlagert wird; auch sie führen doppeltkohlensaure Kalkerde. Das Wasser dieser Quellen fliesst über Moose (Hypnum splendens, H. sylvaticum) und inkrustirt sie mit einer lockern, kreideartigen Kalkmasse. In ihm liegende Steine und Holz von Schleipen (Chaetophora pisiformis) überwuchert, überziehen sich mit kugelförmigen, nierenförmigen, im Innern fassrigen Kalksinter, der genau die Form der Schleipen besitzt, durch deren Lebens-

Digitized by Google

prozess er hervorgerufen wird. Auch in diesen Kalktufflagern, welche sich stündlich fortentwickeln, sind Landschneckengehäuse begraben.

In dem warmen Wasser, welches der Nauheimer Soolsprudel liefert, wachsen zahllose Diatomeen, Oscillarien, Protococcen, Vaucherien, zum Theil mikroskopisch kleine Pflänzchen, welche dem unbewaffneten Auge nur sichtbar werden durch ihre Menge.

Diese theilweise durch ihren Kieselgehalt ausgezeichneten Pflanzen vermehren sich unglaublich schnell, bilden halbzolldicke, Quadratfuss grosse Rasen in den Gräben, in welchen die Soole abfliesst. Sie scheiden den kohlensauren Kalk des Wassers ab, indem sie ein Atom Kohlensäure aufnehmen. *) Sie entwickeln aus dieser Säure den Sauerstoff, der in Millionen Perlen den Boden der Gräben bedeckt, indem er an den Pflänzchen festklebt, oder in grössern Blasen vereinigt, die Rasen hebt und schwimmen macht. Dieser Sauerstoff zersetzt die gelösten kohlensauren Eisen- und Manganoxydule und scheidet sie als Oxyde ab; er dient aber auch, wenn die Diatomeen und kleinen Algen ihn umfassen, als Kern von Kalkkugeln aus deren Vereinigung der „Erbsenstein" entsteht. Bei diesem Vor-

*) R. Ludwig und G. Theobald über die Mitwirkung der Pflanzen bei der Bildung der Kalksteine, Poggendorfs Annalen 1852. R. Ludwig, Geognostische Beobachtungen, Darmstadt 1852, Jonghaus und Venator.

Digitized by Google

gange umhüllt zuerst eine dünne Schicht Eisenoxydulhydrat die Perle, worauf alsdann Kalkabscheidungen folgen. Weil die Diatomeen Sauerstoff exhaliren, so müssen sie zu den Pflanzen gestellt werden. *Kützing* hat von den meisten der kieselhaltigen Wesen, welche sich in den Wassern aufhalten, und denen theilweise eine willkührliche Bewegung zugeschrieben worden ist, nachgewiesen, dass sie Pflanzen seien. Ihr Kieselerdegehalt kann nicht auffallen, denn auch andere höhere Pflanzen besitzen einen solchen. In den Nauheimer Soolen wachsen vorzugsweise:

Protococcus thermalis, *Kütz.;* Amphora aponina, *Ktz.* Amphora bimaculata, *Theobald;* Amphora salina, *Theob.;* Navicula acuminata, *Ktz.;* N. lanceolata, *id.;* Synedra subtilis, *id.;* S. constricta, *id.;* S. radians, *id.;* S. palea, *id.;* S. perpusilla, *id.;* Glocotilla ferruginea, *id.;* Ceratoneis closterium, *id;* Microhalva firma, *Ktz.;* Microcystis minor, *id.;* Leptothrix lamellosa, *Ktz.;* Oscillaria Juliana, *Ktz.;* Vaucheria salina, *Ktz.;* V. sessilis, *Ehrnberg;* V. ornithocephala, *Ag.;* V. clavata, Rhizoclonium salinum, *Ktz.*

Alle überziehen sich mit einer krystallisirten Kalkrinde, wobei die äussern Formen der Pflanze in der Struktur und dem Gefüge des Absatzes wohlerhalten bleibt. Die an doppeltkohlensaurem Kalke so reiche Soole lässt nirgends durch Verdunstung der Kohlensäure den einfach kohlensauren Kalk fallen, überall,

Digitized by Google

selbst auf den Dornwänden der Gradirung und in den Wasserleitungsröhren befördern Pflanzen diesen Absatz.

Die Diatomeen nehmen, wie schon gesagt, Kieselerde in ihre Zusammensetzung auf; diese Erde bleibt, nachdem die verwesliche Pflanzensubstanz vergangen ist, in der Form der Pflanze zurück, kleine verschiedenartig geformte Schälchen bildend. Das von diesen Pflanzen aus dem Wasser gefällte Kalkkarbonat muss daher auch Kieselerde enthalten; es ist zugleich mangan- und eisenhaltig, wenn die Wasser diese Metalloxyde gelösst hatten.

Es ist einleuchtend, dass, insofern neben Kalkbikarbonat, Magnesiabirkarbonat in den Wassern vorkommt, die Kalkkarbonate auch Magnesiakarbonat enthalten müssen; besondere Beachtung verdient es aber, dass, obgleich in die Zusammensetzung der Nauheimer Salzquellen kein Magnesiabirkarbonat, wohl aber Chlormagnesium eingegangen ist; die aus denselben durch die Pflanzen abgeschiedenen Niederschläge dennoch bis 11 p.C. Magnesiakarbonat mit sich führen, und dass das relative Verhältniss des Chlorkalziums dieser über Pflanzen geflossenen Salzsoolen steigt, während das des Chlormagnesiums abnimmt.*) Es hat hier entweder der niedergefallene kohlensaure Kalk seine Säure und seinen Sauerstoff an Magnesium abgetreten und dagegen Chlor

*) R. Ludwig und G. Theobald in o. a. S.

Digitized by Google

aufgenommen, was nach *Bromeis* bei 80 bis 100 Hitzgraden geschieht, also auch wol bei niederern Wärmegraden möglich ist, oder es ist dieses durch das Leben der Pflanzen vermittelt.

Ueberall, wo in kalkkarbonathaltigem Wasser ganz eingetauchte Pflanzen wachsen, kann dieser Vorgang beobachtet werden, denn selbst im Mainwasser, welches kaum 0,013 pC. kohlensaure Kalk- und Talkerde enthält, scheiden Charaarten (Wasserarmleuchter) Glocotila und Cladophora (Wasserfäden und Conferven) Kalkkarbonat in Krystallen so häufig aus, dass sie sich ganz damit bedecken.

In allen Gesund- und Salzbrunnen der Wetterau wachsen Conferven, welche diese Thätigkeit äussern. Einem dieser Sauerbrunnen hat sogar die über Wasserfäden gebildete fast 10 Fuss dicke Tufflage vor Zeiten den Ausgang verstopft, es hat sich Lehm darüber ausgebreitet und von der Quelle war keine Spur mehr sichtbar, bis bei der Anlage der Main-Weser-Eisenbahn der Hügel durchschnitten und der Quelle aufs Neue ein Ausgang verschafft ward. Dem einige tausend Fuss entfernten Sälzerbrunnen bei *Grosskarben* ward dadurch sein früherer Wasserreichthum geschmälert.

In den sogenannten Tertiärkalken, besonders in der Litorinellenkalkschicht des *Mainzer* Beckens, bei *Bönstadt* in der Wetterau, bei *Bingen* am Rhein, an verschiedenen andern Stellen Rheinhessens beobachtet

Digitized by Google

man mächtig entwickelte Lagen von Kalken, welche über Algenarten inkrustirt sind. Diese Kalke, besonders schön bei Bönstadt, sind ungeschichtet von rauhem zelligen Aeussern. Man erkennt in ihnen noch mit Bestimmtheit die Pflanzeninkrustationen, Stengel und Früchte von Chara. In Spalten und Drusen ist das Zersetzungsprodukt des aufliegenden labradorischen Lehmes, *Kalkspath* auskrystallisirt; die Strandschnecke, Litorinella, hat überall ihre Gehäuschen zurückgelassen. An Stellen, wo viele Kalkeinseihungen statt gefunden, vielleicht auch gleich anfangs Conferven und Diatomeen wuchsen, ist der Kalkstein dichter, die Pflanzenstruktur undeutlicher.

In vielen Kalktuffen des *Canstädter* Beckens (Würtemberg), des *Thüringischen* und der Gegend von *Göttingen* findet man ähnliche Bildungen; in den Tertiärkalken der Umgebung des *schwarzen Meeres* und *Kaspischen* Sees kommen mächtige Schichten von Kalken vor, welche für Seepulitengehäuse gehalten wurden, aber nichts anderes als Pflanzeninkrustationen sind.

Auch in ältern Schichten finden wir fossile Diatomeen in erdigen Kalksteinen eingeschlossen, wir begegnen andern Wasserpflanzen in kalkigen Mergeln, oder Kalk- und Sphärosiderit-Knollen eingewachsen, wir sind desshalb zu dem Schlusse berechtigt, dass *„zu jeder Zeit durch den Lebensprozess der Pflanzen Kalkkarbonat aus dem Wasser abgeschieden worden ist, und wenn es uns*

Digitized by Google

schwer fällt in dichten ältern Kalksteinen die Spuren jener zarten Pflänzchen nachzuweisen, so hat dieses seinen Grund einfach eben in den leicht verwischbaren Formen der Conferven und Algen und in dem Umstande, dass die einstige Lockerheit der Gebilde durch spätere Einseihungen und Verkittungen verändert ist in ein dichtes Gefüge.“

Die Schnelligkeit der Kalkabsätze, welche durch das Leben der Pflanzen hergerufen werden, ist nothwendig abhängig von dem Wachsthum der Gewächse. Geht dieser rasch von Statten, so nimmt auch das Kalklager schnell zu und umgekehrt. Der *Ahlersbacher* Kalktuff konnte sich nicht schneller entwickeln als das Moos wuchs, nimmt aber das Hypnum tamariscinum. an der Spitze wachsend, jedes Jahr 4 Linien an Höhe zu, so wird auch das Kalktufflager jährlich 4 Linien dicker. Wenn nun durch Nachsetzen und den Druck der spätern Absätze die Moosstängelchen umbrechen, so wird das Kalklager dichter. Ich nehme an, dass es im Durchschnitt jährlich nur 2 Linien an Höhe gewann, so ward es 12 Fuss dick in 864 Jahren oder rund in 900 Jahren gebildet.

In den Soolgräben und dem Reservoire der *Nauheimer* Saline, setzten sich auf ca. 15000 □Fuss Grundfläche innerhalb 5 Monaten über 100000 Kilogramm Kalksinter ab. Das aus dem Reservoir abfliessende Wasser enthielt nur noch 0,0442 % Kalkkarbonat, es waren daher, da im Wasser am Ursprunge der Quelle

Digitized by Google

0,1568 % Kalk-, Eisenoxydul- und Manganoxydul-Karbonat und Kieselerde in Lösung sind 72 % der anfänglich gelösten erdigen Bestandtheile ausgefällt. Wenn der Kubikfuss erdiger kohlensaurer Kalk 60 Kilogramm wiegt, so ist die Fläche der Soolenleitung innerhalb 5 Monaten beinahe 16 Linien dick mit solchem Kalksteine bedeckt worden. Der einzige Soolsprudel kann also, da er jährlich ca. 950000 Kilogramm = 15833 Kubikfuss erdigen Kalkstein fördert, innerhalb 1000 Jahren eine 27 Fuss dicke Kalksteinbank von 586400 □ Fuss Fläche, oder in 484000 Jahren ein Kalksteinflötz von einer Quadratfläche Basis und 27 Fuss Dicke erzeugen.

Wahrscheinlich haben Pflanzen, Moose, Conferven, Diatomeen ihren Antheil an den Kalktuffbildungen der Quellen von St. *Allyce* bei Clermont, welche eine natürliche Brücke über einen Bach baute, der Quellen *El Korpou*, welche zwei Brücken über den *Euphrat* gebaut hat und vieler ähnlichen. In manchen Fällen kann aber auch besonders bei sehr heissen Quellen der Absatz der gelösten Kalksalze durch Abkühlung und Verdunstung des Wassers und eines Atoms Kohlensäure erfolgen. Doch können auch in sehr heissem Wasser und selbst in Klüften und Höhlen der Erde noch Diatomeen fortkommen und an den Kalkniederschlägen mitwirken, wie *Ehrenberg* durch seine mikroskopischen Untersuchungen der heissen Quellen von *Burtscheid* bei Aachen erwiesen hat, in denen er lebende Navicula antraf. Ausser dem Kalk und Magnesiakarbonat, dem

Digitized by Google

Eisen- und Manganoxydulhydrat scheiden die Pflanzen auch noch ausserordentlich viele *Kieselerde* aus den wässrigen Lösungen. Sie nehmen diese Säure, welche in den Wassern, wie wir gesehen haben gewöhnlich mit alkalischen Basen verbunden vorkommen auf und verbrauchen sie zu ihrem Baue. Es sind namentlich Diatomeen, welche diese Aufgabe lösen, wenngleich auch Equisetaceen, Gräser und höhere Pflanzen Kieselsäure in ihre Zusammensetzung aufnehmen.

Die Diatomeen haben ein Gerippe von Kieselerde, welches nach dem Verwesen oder Ausziehen der organischen Substanz unverändert zurückbleibt, so wie die Form der Schachtelhalme beim vorsichtigen Verbrennen sich unverändert erhält. Die von *Ehrenberg* Galionella ferruginea, von *Kützing* aber Glocotila ferruginea genannte Diatomee ist eine sehr häufig auftretende Form. Sie besteht aus kurzen Fäden, welche aus perlschnurartig aneinandergereihten $^1/_{1500}$ Linie dicken eliptischen Gliedern zusammengesetzt ist, und enthält in jeder Gliederzelle einige grüne oder braune Körnchen.

Man hat behauptet, dass sie vorzugsweise das Eisen aus den Wassern abscheiden und sie desshalb ferruginea genannt. Es erfolgt diese Abscheidung aber nur in Folge der Sauerstoffentwickelung aus der von der Pflanze absorbirten Kohlensäure und eben desshalb schlagen auch andere Diatomeen, Conferven u. s. w. das Eisen nieder.

Digitized by Google

Diese Pflänzchen vermehren sich durch Ausstreuung des grün- oder braungefärbten Inhaltes dessen einzelne Körnchen den Saamen bilden, oder durch Sprossung und Theilung. Es theilt sich jede Zelle in 2 Hälften, welche aneinander befestigt bleibend, eine Kette oder ein gegliedertes Stäbchen bilden. Die Vermehrung geht unglaublich schnell und ist ungeheuer gross, da kein Körnchen auf unfruchtbaren Boden fällt, vielmehr jedes unter den günstigsten Umständen seine Entwickelung vollführen kann. Wenn wir bei Betrachtung der höhern Pflanzen z. B. der Gurken und Melonen zur Bewunderung hingerissen werden über die unzähligen Fruchtkerne, welche innerhalb weniger Monate aus einem einzigen hervorgehen, so können wir nicht erstaunen, wenn wir gewahr werden, dass bei Pflanzen, welche sich durch Knospung und Zellentheilung vermehren, innerhalb weniger Tage aus einem Individuum mehrere Billionen entstehen. Die Diatomeen wachsen in jedem Wasser, im mit Eis bedeckten Meere, wie in den fast siedend heissen Quellen, in der Nähe der Vulkane, wir finden desshalb auch überall ihre Reste, welche entweder in einem durch kohlige Theile Eisen- und Manganoxydhydrat und kohlensaurer Erden gebildeten Gemenge zerstreut liegen, oder nur mit Eisen- und Manganoxyd, oder ganz rein vorkommen. Wenn der Kohlenstoff, der als Bestandtheil der Diatomeen mit der abgestorbenen Pflanze zu Boden gefallen war, auf Kosten des Sauerstoffs des niedergeschlagenen Eisen-

Digitized by Google

und Manganoxydhydrat zu Kohlensäure verbrennt, so müssen kohlensaures Eisen- und Manganoxydul entstehen, welche in Kohlensäure löslich, ausgezogen und vom Wasser fortgeführt werden. Auch die niedergeschlagene Kalkerde kann durch die bei der Fäulniss produzirte Kohlensäure wieder entführt werden. In den eisenhaltigsten Niederschlägen der *Nauheimer* Quellen finden sich demgemäss auch, nachdem die verwesenden Diatomeen einen schwarzen schlammigen Bodensatz gebildet haben, fast eisenfreie, vollkommen weisse, kieselhaltige Kalklamellen.

Wo nur wenig Eisenoxyd oder Kalkerde neben der Kieselerde abgeschieden wurde, da muss denn auch die letztere in fast reinem Zustande zurückbleiben. Auf diese Weise sind die Lager von sogenannter Infusorienerde oder Kieselguhr entstanden.

Wenn wir erfahren, dass in der *Ostsee* das Wachsthum der Diatomeen so ungeheuer rasch vor sich geht, dass allein aus dem Hafen von *Wismar* alljährlich etwa 17500 Kubikfuss dieser Pflänzchen von denen 70 Billionen auf einen Kubikfuss gehen, ausgebachert werden müssen, damit er nicht versande, wenn wir das 20 bis 50 Fuss dicke Lager fortwachsender Pflanzen der Art betrachten, welches unter der ganzen Mark *Brandenburg* von *Halle* bis *Stettin* hinzieht, so begreifen wir die Möglichkeit der Bildung mächtiger Kiesellager, wie sie in der *Lüneburger* Haide in *Westphalen* u. a. Orten gefunden werden.

Digitized by Google

Das unterirdische Lager der Mark *Brandenburg* muss in dem Maasse, als die daselbst wachsenden Diatomeen Kieselerde aus dem sie ernährenden Wasser abscheiden, an Stärke zunehmen und dadurch eine allmählige Erhöhung des Bodens bewirken. An Torflagern beobachten wir das Hervorquellen von Diatomeenhüllen, die Folge von Auftreibungen durch das Wachsthum der Pflänzchen. Wir können hieraus den Schluss ziehen, dass diese unsichtbaren Organismen den Boden flacher Wasseransammlungen über den Wasserspiegel heraus zu heben vermögen und da wir sie im baltischen Meere und in der norddeutschen Ebene sehr häufig finden, so können wir schliessen, dass sie einen bedeutenden Antheil an der Trockenlegung der letztern genommen haben. Sehr viele Eisensteinniederlagen, besonders aber die Rasen- oder Sumpferze, sind unter Mitwirkung der Diatomeen entstanden.

Auch in ältern Schichten als in der Kreide, in der Trias namentlich, im Steinsalze dieser Formation, in den Kieselschiefern, der Steinkohlenformation sind Diatomeen gemischt mit Foraminiferen beobachtet worden. Die fossilen Diatomeen sind oft kaum von den jetzt noch wachsenden zu unterscheiden.

Manche Pflanzen, welche, wie Moos, Flechten, Gras und Haide in Gesellschaft wachsen und den Boden mit einem dichten Filze überziehen, tragen unter Umständen zur Erhöhung des Bodens bei, indem sie wie Filtra auf sie durchrieselndes trübes Wasser wirken.

Digitized by Google

Es können hierdurch selbst auf steilen Gehängen allmählig mächtige Lager Lehm, Thon und Sand anwachsen. Ich habe diese Bildungsweise an vielen Orten beobachtet*) und will hier nur die Entstehung eines über Gras unter meinen Augen angewachsenen Lehmlagers beschreiben.

In der Röhn (zwischen Oberzell und Schwarzenfels), geht aus der Zersetzung des Basaltes durch die Einwirkung der Atmosphärilien eine feine aus Labradorstaub, Eisenoxydhydrat und Magneteisen bestehende Erde hervor, welche vom Regenwasser über die Abhänge der Berge herab gespült wird. Der durch Eisenocker gefärbte Labradorstaub wird als das leichtere dabei am weitesten fortgeschwemmt, während das Magneteisen den Gipfeln näher, liegen bleibt. Wo die trübe Fluth über Wiesen behufs der Wässerung geführt wird oder freiwillig an den Abhängen gelegene Wiesen überströmt, da filtrirt die Rasendecke die schlammigen Theile ab, so dass das Wasser unten vollkommen geklärt, abfliesst.

Vor den Schlitzgräbchen der Wässerungen sammeln sich in kurzer Zeit mehrere Quadratruthen grosse und Fuss dicke Kegel an, die ganz aus labradorischem Lehm vermengt mit aufrechtstehenden abgestorbenen Grashälmchen bestehen und mit kleinen, im Grase lebenden

*) R. Ludwig, die Lehmlager der Grafschaft Hanau in den Wetterauer Jahresberichten $18^{50}/_{51}$.

Digitized by Google

Schnecken, Succinea, Pupa, Helix pulchella, Achatina accicula etc., welche sich im Winter in diese Hügelchen eingraben oder deren Gehäuse eingespült wurden, erfüllt sind. Auf Abhängen, welche 5 bis 30° Neigung besitzen, sammeln sich solcher Gestalt Lehm- und Sandablagerungen an. Der Rasen wächst bekanntlich am Besten, wenn er von Zeit zu Zeit von oben gedüngt und mit lockrer Erde dünn überdeckt wird, seine Wurzeln heben sich, wie der Landmann sich ausdrückt, indem er nach oben neue Sprossen treibt. Wenn wir nun Lehmlager von 50 und mehr Fuss Dicke finden, welche von unten auf bis oben hin mit verkohlten Grasresten, mit Halmen Stengeln und Wurzeln von Orchideen etc. erfüllt, viele noch in der Umgegend lebende Schnecken, gelegentlich auch Knochen von kleinen Nagern, Maulwürfen, selbst Zähne und Reste von grössern Thieren einschliessen, so können und müssen wir eben aus der Stellung der angetroffenen Pflanzenreste auf eine ähnliche Bildungsweise schliessen.

In der Wetterau, am Vogelsberge, im Taunus sind solche Lager nicht selten. An der einen Stelle ist zersetzter Basalt, an der andern zerfallene Grauwacke, Thonschiefer, Serizitschiefer das Material, aus dem sie entstanden; andere Massen, kleine Gerölle, Steinbröckchen sind gelegentlich mit eingespült, immer aber hat Rasenboden als Filter und Ansammlungsstelle gedient, die Schnelligkeit des durchrieselnden Wasserstromes

Digitized by Google

ward durch die Hälmchen gemindert, die mitgerissenen Erdtheilchen mussten zu Boden fallen.

In diesen Haufwerken gingen nachträglich mancherlei chemische Prozesse vor. Die verwesenden Pflanzen erzeugten Säure, welche zerlegend auf die Silikate einwirkten; kohlensaure Salze wurden ausgeschieden und, wo Raum in entstandenen Höhlungen war, krystallisirte Kalkspath aus, setzte sich Kalzedon, Mergel ab. Wir finden die Höhlungen, in denen ehemals Pflanzenstengel und Wurzeln steckten, mit Kalkspath, Kalzedon, Mergel erfüllt, letzterer umhüllt solche Theilchen oder hat sich an Knochen, Schneckchen u. d. angesetzt. Der Lehm nimmt nach der Tiefe hin eine mehr lettige, thonige Beschaffenheit an, er wird selbst zu Ziegelthon.

Man hat aus den Niveauverhältnissen der Lehm- (Löss-) und Sandablagerungen auf die Höhe früherer Wasserbedeckung schliessen wollen; ich bin der Ansicht, dass man solche Ablagerungen, die in jeder Höhe, wo noch Gras und Moos fortkommt, auf dem trocknen Lande entstehen und seit der Zeit, da dicht nebeneinander wachsende Pflanzen der Art die Erde bedeckt haben, sich entwickeln konnten, nicht als Pegel für den früheren Wasserstand betrachten darf, es müsste denn sein, dass man in ihnen weit hergeschwemmte der Local-Fauna der Zeit fremde Organismen eingeschlossen antrifft, wie sich z. B. alpinische Schnecken in manchen Lössablagerungen des mittleren Rheinthales finden,

Digitized by Google

welche zur Zeit ihrer Entstehung allerdings den Ueberschwemmungen preis gegeben sein mussten, während sie jetzt, nachdem das Thal durch Auswaschung tiefer geworden, von solchen nicht mehr erreicht werden.

Die im Vorhergehenden aufgeführten Beispiele beweisen, wie die von der Erde erzeugten Organismen durch ihr Leben und nach ihrem Absterben vielfältig auf die Entwicklung der Schichten, auf Bildung und Umwandlung einwirken; sie werden durch fortgesetzte Studien bereichert zur Lösung mancher geologischen Probleme beitragen.

Digitized by Google

5. Elektrizität.

Die elektrische Kraft, welche sich in einem eigenthümlichen Zustand der Bewegung der kleinsten Theilchen der Körper äussert, ist in vielfältiger Weise auf der Erde und deren atmosphärischer Hülle thätig. Die elektrische Erscheinung, welche wir Gewitter nennen, ist allgemein bekannt, sie besteht in der Ausgleichung der auf den höchsten Grad des Gegensatzes gesteigerten Elektrizität der Atmosphäre und der Oberfläche des Erdballes. Die Blitze schmelzen zwar gelegentlich die Oberflächen von Felsen; die elektrischen Entladungen veranlassen Wasserhosen und Wirbelwinde, in deren Gefolge ganze Landstriche mit Schutt und Schlamm überdeckt werden, sie vereinigen den Stickstoff und Sauerstoff der Atmosphäre zu Salpetersäure, aber dennoch haben diese lauten Aeusserungen der elektrischen Kraft nur geringeren Einfluss auf die Entwickelung

Digitized by Google

der Erdschichten. Die aus den Vulkanen während deren höchster Thätigkeit entsteigenden Wasserdämpfe sind in hohem Grade elektrisch, sie veranlassen, wie wir oben (S. 44) gesehen haben, das vulkanische Gewitter. Man darf daraus schliessen, dass durch die vulkanische Thätigkeit der Erde die elektrische Kraft erregt wird, wie durch die chemischen Hergänge, durch Erwärmung und Beleuchtung der Erde, das Aufsteigen der Flüssigkeiten in den Poren der Gesteine und die Bewegung der Erde auf ihrer Bahn um die Sonne, wie um ihre Axe.

Von höherer Wichtigkeit für die Würdigung der geologischen Erscheinungen sind die Prozesse der Umwandlung der Gesteine, die Krystallbildungen in den Massen, die Ausscheidung der Mineralien auf Lagern, Gängen und in Drusenräumen, an denen die Elektrizität durch die Anordnung der Moleküle nach mathematischen Gesetzen den grössten Antheil hat.

Die Elektrizität vermag bekanntlich die Kräfte, mit denen die Bestandtheile der aus mehreren Elementen zusammengesetzten Körper an einander haften (Affinität), zu vernichten und jenen Bestandtheilen eine auseinanderstrebende Bewegung mitzutheilen, so dass z. B. die Schwefelsäure des Kupfervitriols, oder der Sauerstoff des Kalis sich an dem einen Pole einer galvanischen Batterie sammelt, während sich das Kupferoxyd oder das Kalium an den entgegengesetzten begibt, wobei

Digitized by Google

die beiden getrennten Stoffe durch verschiedene Flüssigkeiten oder andere Körper hindurch einen nicht unbeträchtlich weiten Weg zurück zu legen gezwungen werden.

Sobald sich mehrere Atome verschiedener Art an einem Pole der elektrischen Batterie begegnen, werden sie nach den Gesetzen der Affinität in Verbindung gebracht; die elektrische Kraft ordnet sie aber, vorausgesetzt, dass die Stoffe nicht in übermässiger Menge eintreffen, nach den Gesetzen des Gleichgewichtes in Gestalten an, welche wir Krystalle nennen.

Sobald zwei verschieden zusammengesetzte Körper in Berührung kommen, entsteht eine chemische Reaction, welche um so kräftiger wird, wenn einer oder beide Stoffe im flüssigen Zustande sind. In Folge dieser Erregung, die man mit einem Anstoss vergleichen mag, bewegen sich die Atome der Körper nach verschiedenen entgegengesetzten Richtungen. Die Atome werden durch diese Bewegung an den Punkten vereinigt, an welchen sie das erste abgesetzt hat; sie werden um dieses nach den Gesetzen des Gleichgewichtes angeordnet, d. h. „sie krystallisiren."

Von den elektrochemischen Kräften machen wir Gebrauch bei der Galvanoplastik, bei den galvanischen Ueberzügen von Gold, Silber u. a. Metallen auf Kupfer, Messing, Eisen und durch Graphit leitend gemachte erdige Stoffe.

Digitized by Google

Bei der Bereitung des Kupfervitrioles beobachtete man in den Fässern, in denen die vitriolische Flüssigkeit aufbewahrt wird, die Ausscheidung grosser zusammenhängender Massen metallischen Kupfers. Der Hergang hierbei ist folgender. Die Lauge besteht aus Wasser, in welchem neben schwefelsaurem Kupferoxyde ($\dot{Cu}\,\ddot{S}_2 = Cu\ O.\ S\cdot O_3$) etwas schwefelsaures Kupferoxydul ($\dot{\dot{C}}u\,\ddot{S} = Cu_2\ O + S\ O_3$) aufgelöst ist. Das letztere Salz verwandelt sich allmählich unter Abscheidung von Kupfer in $Cu\ O + S\ O_3$ und sobald ein Körnchen Kupfer sich abgelagert hat, bewegen sich durch die elektrische Kraft getrieben alle ferner in der Flüssigkeit abgeschiedene Kupferatome nach ihm hin, um mit ihm eine zusammenhängende Masse darzustellen.

Es ist dieses dieselbe Anziehungskraft der Theilchen, welche die im Wasser aufgelösten Stoffe veranlasst sich selbst aus sehr verdünnten Lösungen an einen hineingelegten Krystall anzusammeln und welche nach Bunsens oben (S. 69) mitgetheilten Beobachtungen in den Isländischen Fumarolen die Bildung von Gypslagern bewirkt.

Die elektrischen Wirkungen gehen an den Oberflächen der mit irgend einer salzigen Flüssigkeit benetzten, sich berührenden Körper vor sich, selbst zwei auf einander ruhende Flüssigkeiten bringen die Erscheinungen des Elektrochemismus hervor, die zerlegten oder

Digitized by Google

gebildeten Stoffe lagern sich an der Oberfläche der Flüssigkeiten ab.

Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn sich in alten Grubenbauten aus diluirten Auflösungen Stalaktiten von Eisenvitiriol, Zinkvitriol, Kobaltvitriol, Kupfervitriol, Krystalle von Gyps, arsensaurem Eisen- und Kobaltoxydule, Pharmakolith, Kalkspath, Zinkspath u. s. w. ansetzen. Wenn wir Quarzkrystalle finden, welche bei ausserordentlicher Grösse aus zahllosen übereinander gelegten Lamellen bestehen, die wie die Einsätze der Thüringer Holzschachteln oder der Grossallmeroder Schmelztiegel ineinander stecken, so schliessen wir nicht mit Unrecht auf eine ähnliche Entstehungsweise wie die jener Stalaktiten.

Es setzt uns nicht mehr in Erstaunen wenn wir in einer Höhlung nebeneinander ausgebildete Krystalle von Quarz, Schwerspath, Harmotom, Kalkspath u. s. w. antreffen, denn wir wissen nun, durch welche Kraft getrieben, die Atome sich aufsuchen und aneinander reihen.

*M. Becquerel**) hat gezeigt, wie mit Hülfe eines einfachen elektrochemischen Apparates sehr viele Mineralien in Krystallform dargestellt, die einzelnen Stoffe combinirt und durch Thon- oder Gypschichten hindurch

*) Elemente der Elektrochemie in ihrer Anwendung auf Naturwissenschaften und Künste von M. Becquerel, aus dem Französischen 1848.

Digitized by Google

aus einem Gefässe in das andere geführt werden können, es ist ihm gelungen verschiedene Pseudomorphosen zu entwickeln.

Becquerel wendet gewöhnlich zu seinen Versuchen eine Uförmig gebogene weite Glasröhre an, welche in ihren untern Theilen mit feinem Thonschlamme erfüllt ist. In jeden der Schenkel giesst er eine derjenigen Auflösungen, welche er auf einander wirken lassen will. In den rechten Schenkel z. B. Kupfervitriol, in den linken Kochsalz. Alsdann taucht er zwei Metallplättchen, z. B. rechts Kupfer, links Zink hinein, welche durch einen Draht verbunden, elektrisch anregend wirken. Es sammelt sich in diesem Falle an der rechten Kupferplatte metallisches Kupfer und schwefelsaures Natron, an der linken Zinkplatte aber schwefelsaures Natron und Chlorzink.

Wir sehen hier die Zerlegung des schwefelsauren Kupferoxydes, des Wassers und des Chlornatriums. An dem Kupferpole sammeln sich Kupfer, Wasserstoff und Natrum, an dem Zinkpole Chlor, Sauerstoff und Schwefelsäure. Nun kommen die Affinitäten der Stoffe in Thätigkeit um den elektrochemischen Prozess zu fördern. Der Sauerstoff und die Schwefelsäure bewirken die Zerlegung des Chlornatriums und bilden unter Abscheidung von Chlor Glaubersalz (schwefelsaures Natron) aus demselben; das Chlor aber sammelt sich auf dem Zink und vereinigt sich mit ihm zu Chlorzink. Das

Digitized by Google

Natrium und der Wasserstoff wirken zerlegend und reduzirend auf das schwefelsaure Kupferoxyd und erzeugen Glaubersalz und Wasser, während sich Kupfer metallisch absetzt.

Wird in den oben beschriebenen Apparat in den einen Arm salpetersaures Kupferoxyd, in den andern einfach Schwefel-Kalium gegeben, in den erstern eine Kupfer- in den andern eine damit leitend verbundene Silberplatte gehängt, so bilden sich nach einigen Wochen auf der Kupferplatte Kupferkrystalle, während sich die Silberplatte, unter Beibehaltung der Form, jedoch unter Zunahme ihres Volums, gänzlich in Schwefelsilber verwandelt und auf ihren Flächen oktaedrische Schwefelsilberkrystalle entstehen. Hier wird das salpetersaure Kupferoxyd zerlegt, das Kupfer krystallisirt. Sauerstoff und Salpetersäure gehen an den Silberpol, verwandeln das Schwefelkalium in salpetersaures Kali, während der Schwefel sich mit dem Silber vereinigt. So entsteht aus letzterm eine Pseudomorphose, wie sie in den Gesteinen so häufig vorkommt. Auch Bleiglanz, Kupferglanz und Eisenkieskrystalle sind auf ähnliche Weise künstlich dargestellt worden; wie auch zahlreiche Verbindungen von andern Stoffen.

Das Gesetz, nach dem die elektrochemische Wirkung sich regelt, stimmt, wie *Faraday* erwiesen hat, auf das Genaueste überein mit den chemischen Proportionen. Wenn z. B. in dem einen Schenkel von drei verschie-

Digitized by Google

denen Uförmig gekrümmten Röhren mit Thonabsperrung, salpetersaures Silberoxyd, Kupfervitriol, Zinkvitriol gegeben wurde, während die andern Schenkel mit Kochsalz-Solution gefüllt waren, alsdann in jeden der mit metallischen Auflösungen gefüllten Schenkel eine Platinplatte, in den Kochsalzschenkel eine Eisenplatte gehängt, alle drei Apparate aber mit einer und derselben galvanischen Batterie verbunden werden, so sammelt sich auf den Platinpolen Silber, Kupfer und Zink in den Gewichtsverhältnissen wie 108: 31,8: 32,3; an jeder der drei Eisenplatten müssen sich 8,01 Gewichttheile Sauerstoff abgeschieden haben. Die Atomgewichte dieser Metalle sind aber, den des Wasserstoff-Doppelatoms als Einheit genommen,

für Silber = 108,16,
„ Kupfer = 31,71,
„ Zink = 32,31.

M. Becquerel fand, dass, wenn man in verschiedene Gefässe Mischungen von salpetersauren Metallsalzen in aequivalenten Verhältnissen (d. h. in Verhältnissen, welche durch die Atomgewichte der Salze bedingt sind) gibt, einzelne Metalle vorzugsweise und allein durch den elektrischen Strom abgeschieden werden.

So ward z. B. aus Mischungen von einem Atom salpetersaurem Silberoxyd mit zwei, vier, acht, sechszehn, zwei und dreissig, vier und sechzig Atomen salpetersaurem Kupferoxyd zuerst das Silber abgeschieden ehe Kupfer ausfiel.

Digitized by Google

Wurden 67 Atome salpetersaures Kupferoxyd und 1 Atom salpetersaures Silberoxyd gemischt, so erhielt man im Niederschlage 1 Atom Kupfer und 1 Atom Silber (d. h. 108,16 Gewichtstheile Silber und 31,71 Gewichtstheile Kupfer), bei 86 Atomen Kupfersalz auf 1 Atom Silbersalz bestand der Niederschlag aus 2 Atom Kupfer und 1 Atom Silber, d. i. 108,16 Gewichtstheile Silber und 63,42 Gewichtstheile Kupfer.

Aus diesen Versuchen geht nun hervor, dass die zu zerlegenden Massen je nach den Gewichtsverhältnissen, in denen sie in Mischungen vorkommen, Einfluss auf das zu erwartende Resultat haben. Da ausserdem dieses Resultat noch durch die Verdünnung mit Wasser, durch die Stärke des angewandten elektrischen Stromes und durch die Temperatur der Flüssigkeiten abgeändert wird, indem diese Factoren auf die Gestalt und den Theilzusammenhang der abzuscheidenden Körper modificirend einwirken, so konnte ein allgemeines Gesetz der Massenwirkung in Bezug auf elektrochemische Vorgänge noch nicht festgestellt, sondern es müssen diese Wirkungen für jeden einzelnen Fall studirt werden.

Die schwächsten elektrischen Strömungen sind im Stande in langen Zeiträumen Zerlegung und Umbildung zu bewirken und zwar eben so wohl an unauflöslichen, als an auflöslichen Stoffen. Wird dabei aber die elektrische Kraft durch die Affinität unterstützt, so geht die langsame Zerlegung in eine rasche über.

Digitized by Google

Da die elektrische Kraft, welche die Affinität aufhebt, die Stoffe im Verhältnisse ihrer Atomgewichte abscheidet, da sie auf flüssige Stoffe, deren Theilchen sich leichter bewegen, rascher wirkt, als auf feste unbeweglichere Substanzen, so werden auch energischere Aeusserungen der Elektrizität (stärkere Ströme) die Trennung der Bestandtheile solcher Verbindungen bewirken, welche weniger durchgreifenden (schwächern Strömen) widerstehen. Ein Versuch, bei welchem ein elektrischer Strom durch verschiedene Flüssigkeiten geleitet wird, bestätigt dieses.

Werden die Gefässe von Porzellan durch Glasröhren, welche mit feuchtem Asbest oder Thon gefüllt sind, in Verbindung gebracht, wird in das eine Gefäss reines Wasser, in das mittlere Aetzammon und in das dritte schwefelsaures Kali gegossen, und werden dann in das erste und dritte Pole einer elektrischen Batterie gelegt, so dass in das mit Wasser gefüllte der positive Pol kommt, so sammelt sich in diesem die Schwefelsäure, welche sich durch das Gefäss mit Ammon bewegt, ohne sich mit diesem Stoffe, ihrer grossen Affinität ungeachtet, zu vereinen. Am negativen Pole bleibt das Kali allein zurück, wird die Ammonflüssigkeit des mittlern Gefässes gegen ein lösliches Barytsalz (Chlornatrium, salpetersaure Baryterde etc.) vertauscht, so sammelt sich dagegen in ihm die Schwefelsäure, indem sie sich mit der Baryterde zu schwefelsaurem Baryt vereint, welcher sich niederschlägt. Nur ein viel stärkerer

Digitized by Google

elektrischer Strom ist im Stande diese Bildung zu verhüten, indem er auch das Salz im mittlern Gefässe zerlegt.

Die elektrische Kraft wird in Thätigkeit gesetzt durch Reibung, Wärme und durch die chemische Zersetzung der in Berührung gebrachten Stoffe. Letztere Veranlassung findet hauptsächlich in der Erdrinde, in welcher sich das mit Stoffen aller Art beladende Wasser bewegt, ein weites Feld: besonders noch desshalb, weil die Erdrinde besteht aus vielfach wechselnden Schichten von Kalk, Sand und Thon, die gewissermassen voltaische Säulen bilden. Die Klüfte und Spalten mit Silikaten der Eruptionsgesteinen, Wasser und wässrigen Auflösungen mannigfaltiger Stoffe erfüllt, dienen als leitende Verbindungen zwischen den einzelnen Paaren der Batterie, wobei die mit wässrigen Lösungen getränkten Schichten zugleich die Gefässe darstellen, in denen die chemische und elektrische Kraft erzeugenden Aktionen vorgehen.

In Fig. 18. einer Skizze der Gang- und Lagerungsverhältnisse von Bieber in Kurhessen sind die Schichten c. d. e., c.' d.' e.' gewissermassen die zwei Glieder einer galvanischen Batterie, welche zwischen den, die Elektrizität schlecht leitenden Lagen Thon b. und thonigen Kieselconglommerat f. f.' und Glimmerschiefer g. angeordnet, durch die mit wässriger Lösung erfüllte Gangkluft in leitende Verbindung gesetzt

Digitized by Google

sind. Im Kupferschiefer e. e.' sind zahlreiche metallische und erdige Bestandtheile, als Silber, Kupfer, Nickel, Kobalt, Wismuth, Eisen, Arsen, Schwefel, Kohlenstoff, Kalk, Bittererde, Baryterde, Kieselerde, Thonerde, Kohlensäure, Schwefelsäure eingehüllt, die wir auch in vielfältiger Verbindung auf den Wänden des Ganges auskrystallisirt finden. In der Regel ist der obere Theil der Gangspalte von b. bis e. mit Schwerspath (schwefelsaurem Baryt) erfüllt, von e. bis f.' sind die metallischen Bestandtheile Arsenkobalt und Nickel, Schwefel, Kupfer, Wismuth, Eisen und Antimon vorzugsweise abgeschieden, eingebettet in kohlensaures Eisenoxydul, Schwerspath und (eingeschlämmte) thonige Massen. Von f' abwärts herrschen Spatheisenstein-Krystallisationen in der Regel vor; seltener treffen wir in dieser Gangregion auf Erze.

Da die Schichten c.' d.' e.' vom Gange abfallend geneigt sind, so kann durch deren Auslaugung der Gangspalte kein Stoff zugeführt werden. Wenn aber die Stofftheilchen, durch electrische Anregung in Bewegung gesetzt, angezogen und abgestossen, überhaupt angeordnet wurden, so ist deren aufsteigende Bewegung aus der Flüssigkeit, welche das Lager e.' erfüllt, keine Unmöglichkeit. Es konnten sogar die Atome des Schwerspaths, oder dessen Elemente aus der Tiefe nach dem Scheitelpunkte des Ganges gehoben werden, während die metallischen Substanzen der Tiefe zugeführt wurden. Die Kalksteinplatten sind hier als die

Digitized by Google

electropossitiven Pole anzusehen, an denen sich die electronegativen gesäuerten Verbindungen sammeln; die Kieselconglomeratplatten sind die negativen Pole, an welche sich die Metalle begeben.

Aber auch in der Richtung der Längenerstreckung der Gänge beobachten wir zu *Bieber* eine bestimmte Anordnung der metallischen Substanzen. Wo Fahlerze (Schwefelkupfer mit Schwefelantimon) und Kupferkies häufiger einbrechen, tritt der Arsenkobalt sehr zurück oder fehlt gänzlich und umgekehrt. Es haben auch in der Längenerstreckung electrische Anziehungskräfte die Ansammlung der Mineralien befördert, denn die Schwefelverbindungen sind den Arsenmetallen elektrisch entgegengesetzt.

Es ist kein Grund für die Annahme vorhanden, dass Mineralien, welche die Ausfüllung der *Bieberer* Kobaltgänge bilden, in verschiedenen Zeiträumen, eins nach dem andern, eingespült seien; vielmehr werden alle gleichzeitig aus dem Kupferschiefer entnommen und dem Gange zugeführt. Sie kommen aber in bestimmter Weise angeordnet und zugleich so vor, dass die einen die anderen durchwachsen. Bemerkenswerth ist überdies der Umstand, dass die metallischen Bestandtheile in ungleich reicherm Verhältnisse als im umschliessenden Nebengesteine abgelagert sind.

Wir erfuhren aber, dass die Ausscheidung durch gleiche electrische Ströme den Atomgewichten der Körper

Digitized by Google

proportional geschieht, dass aus Mischungen vorzugsweise die electropossitiven Bestandtheile gefällt werden, ehe die electronegativen an die Reihe kommen.

Alle diese Erfahrungen finden Anwendung auf die Art der Gangerfüllung.

Sobald an einem Punkte ein Atom Speiskobalt niedergeschlagen und auf die Gangwand befestigt war, sammelten sich um dasselbe die nachfolgenden in Lösung zugeführten Atome gleicher Substanz, sie bildeten Krystalle, krystallinische oder derbe Massen, inmitten der gleichzeitig abgelagerten kohlensauren Eisenoxydul- oder schwefelsauren Barytsalze.

Speiskobalt und Kupfernickel werden, da sie fast gleiches Atomgewicht haben, gleichzeitig abgelagert, jedoch auch so, dass ein Korn Kupfernikel umhüllt ist von einer Schale Speiskobalt. Die durch den electrischen Strom nicht gefällten Substanzen aber wurden durch die Wassercirculation entfernt. Nach vollendeter Ausfüllung (und wohl auch schon während derselben) änderte sich die electrische Thätigkeit, welche durch die chemische Reaction der zugeführten Flüssigkeiten auf die abgesetzten Mineralien bedingt ist; es entwickelten sich Umbildungen. Wir sehen denn auch auf weissem, derbem, späthigem oder in 6seitigen Tafelformen mit zugeschärften Kanten krystallisirtem Barytspathe, blumenkohlartig angeordnete Barytspathdendriten von gelblicher Farbe, oder bläuliche Säulenformen mit rhombischer

Digitized by Google

Basis. Es muss also im Laufe der Zeit eine Veränderung in der Stromstärke und in der Mischung stattgefunden haben, wodurch die Molecüle gezwungen wurden sich in anderer Weise um den Schwerpunkt abzulagern. Wir finden Speiskobaltkrystalle überdrust durch Eisenglanz, Schwefelkies auf ganz zerfressenem Spatheisenstein, den Eisenglanz und Schwefelkies also offenbar später gebildet und auf den genannten ältern Mineralien abgeschieden.

Auf ausgehauenen Strecken der *Bieberer* Kobaltgänge erzeugen sich im Laufe der Jahre mancherlei neue Mineralien. Arsensaure Kobalt- und Nickelsalze, arsensaurer Kalk blühen aus den Wänden zu zierlichsten, büschelförmigen Gruppen vereinigt; Kobalt-, Nickel-, Eisen-, Kupfervitriol mit Gyps und Bittersalz vereinigt, krystallisiren an feuchten Stellen; Kalkspath durch Kobalt-, Nickel- oder Kupfersalze roth und grün gefärbt, bildet die zierlichsten Krystallisationen oder fasrige Ueberrindungen.

Das Silber, welches die *Kongsberger* Silbererzgänge enthalten, ist ebenfalls durch die Wirkung der electrischen Kraft angeordnet.

C. F. Böbert beschreibt Seite 267 u. ff. des 12ten Bandens von Karstens Archiv die Kongsberger Silbergänge und erläutert deren Bau durch die **Fig. 19 u. Fig. 20.**

Fig. 19. bedeutet ein Stück des Kongsberger Gebirges, A. A. A. sind Gneus- oder Glimmerschiefer-Lager,

Digitized by Google

bestehend aus Quarz, Feldspath und Glimmer. B. B. sind Hornblendschieferlager, imprägnirt durch geschwefelte Kupfer-, Zink-, Blei- und Eisenerze, welche einen sehr geringen *Silbergehalt* führen. Diese Schichten werden zu Kongsberg Fahlbänder genannt; C. ist der diese Gebirgsschichten querdurchschneidende Gang.

Fig. 20. stellt dasselbe Stück Gebirge vor, es ist aber ein Theil des den Gang C. C. bedeckenden Gesteines entfernt. Wo der Gang C. die Fahlbänder B. schneidet, enthält er reichlich Silber; sonst ist er taub, d. h. er umschliesst nur erdige Substanzen und kein Silber.

Es sind abwechselnd nebeneinander liegende Lager des Gesteines, Hornblendeschiefer mit Schwefel-Metallgehalt und Gneus oder Glimmerschiefer vorhanden, welche ebenso wie die übereinander gelagerten Schichten des Bieberer Zechsteins, durch die Gangspalte getrennte galvanische Batterie bilden. Eingeführte Wasser mussten chemische Wirkungen in diesen Gesteinen erregen, der electrische Gegensatz zwischen Gneus und Hornblendschiefer musste die Ansammlung des Silbers in zusammenhängenden Massen bewirken, während die übrigen ohne Zweifel in reichlicherer Menge gelösten metallischen und erdigen Substanzen von den Wassern fortgeführt wurden. Es kommen bei diesen Gängen ganz ähnliche Erscheinungen zur Anschauung, als bei der galvanischen Vergoldung und Versilberung, welche

Digitized by Google

in den Gewerben jetzt vielfach angewendet werden. Bei der Annahme, dass die Gangausfüllung durch vulkanische Einspritzung von unten oder durch wässrige Zuführung von oben erfolgt sei, bleibt es unerklärlich wesshalb das Silber nur da einbricht, wo die Gänge das Fahlband schneiden und wesshalb es nicht überall vertheilt vorkömmt.

Auch bei vielen andern Gängen, welche mehrere Gesteinsarten durchschneiden, wird die Beobachtung gemacht, dass die Mineralien mit der Art des Nebengesteines wechseln. Die auf vielen Spaltausfüllungen vorkommenden Erzspiegel, metallische Ueberzüge, welche spiegelblank, ein genaues Abbild der Gangwände darstellen, sind den Silbermassen ähnlich, welche sich an den Wänden der Glasgefässe anlegen, in denen man kohlensaures Silberoxyd, destillirtes Wasser und eine Bleiplatte zusammenbringt; sie sind mit den durch Galvanismus produzirten Kupferplatten gleich, welche nach einem Gypsmodelle geformt werden. Sie beweisen den grossen Einfluss, welchen die Oberflächen auf die electrischen Erscheinungen ausüben.

Es ist oben (S. 111 u. ff.) schon darauf hingewiesen worden, wie das Wasser, indem es die Zersetzungsprodukte der Gesteine auflöst und transportirt, bei der Umwandlung der rigiden Erdrinde behülflich ist. Diese Thätigkeit könnte mit der der Handlanger verglichen werden, welche bei Aufführung eines Gebäudes die

Digitized by Google

Materialien herbeischaffen, aus denen der Baumeister die Wände, Mauern und Zimmern sammt deren Schmuck und Ueberkleidung zusammenfügt. Die electrische Kraft ist der Baumeister, welcher dem Wasser die Atome der Stoffe entnimmt, um sie als Krystalle, Dendriten u. s. w. anzuordnen.

Wenn abwechselnde Lagen von Thon, Sand und Kalk übereinander liegen, so wird es dem Wasser schwer sie alle zu durchdringen, die Luft aber vermag nur geringen Einfluss auf solche Schichten auszuüben. Wurden die Gebirgsstücke durch Hebungen aber dergestalt aufgerichtet, dass die Flächen, welche anfangs horizontal gelegen in eine geneigte Stellung kommen, so wurde dem Wasser und der Luft der Eintritt und die Zirkulation auf den Schichtenflächen sehr erleichtert. Die chemischen Aktionen mussten demgemäss energischer von Statten gehen, die electrische Polarisation der Schichten musste sich steigern, Zerlegung und Neubildung vielfacher Mineralien veranlassend.

Die Hebung und Aufrichtung der Schichten ist in vielen Fällen veranlasst durch eine vulkanische Eruption. Die in Spalten der Sedimente emporgetretene Lava ist eine reiche Vorrathskammer, aus welcher das Wasser, der Sauerstoff und die Kohlensäure der Atmosphäre Silikate von Kali, Natron, Lithion, Strontian, Magnesia, Fluorverbindungen, Phosphate, Arseniate, Sülfate und Karbonate in reicher Menge entnehmen

Digitized by Google

und der galvanischen Batterie der Sedimentschichten zuführen können.

Wie in dem galvanischen Apparate der Kupferpol das Kupfer aus den Lösungen niederschlägt, so können jene Kalkschichten aus den sie durchrieselnden wässrigen Auflösungen krystallinisches Kalk-Karbonat abscheiden. Das dadurch in Freiheit gesetzte Atom Kohlensäure zerstört Magnesiasilikat der Flüssigkeit, indem es daraus Magnesiakarbonat und Kieselerde fällt. Auch diese Substanzen setzten sich in krystallinischen Formen an und vereinigten sich mit dem Kalkkarbonate zu Dolomit.

Die Umwandlung der von Pyroxengesteinen durchsetzten Kalksteinablagerungen in Dolomit ist auf diese Weise ungezwungen zu erklären. An den Contactflächen muss sich demgemäss mehr Magnesia abgelagert haben, als tiefer im Innern, daher die Erscheinung, dass der Dolomit allmählich in gewöhnlichen Kalkstein verläuft.

Mit der kohlensauren Kalkerde gemeinschaftlich sammelten sich an geeigneten Stellen vielleicht um eingeschlossene Sandkörnchen, als um Krystallisationskerne, die durch das Wasser aus dem verwesenden Laven zugeführten Elemente des Epidots, Granates, Analzimes, der Hornblende, der Zeolithe u. s. w., welche die krystallinischen Kalksteinschichten für die Mineraliensammler, so werthvoll machen.

Digitized by Google

Die Thon-Sand-Lager, als die andern Pole der durch die Sedimente gebildeten galvanischen Säulen, mussten ebenfalls stoffanziehend wirken. Sie nahmen, je nachdem Thon oder Sand in ihnen vorherrschten, durch Aufnahme und Anordnung von Kali-, Natron-, Lithion-, Magnesiasilikaten oder selbst reiner Kieselerde die Gestalt des Gneuses, des Feldstein-Porphirs, des Hornblendeschiefers, des Glimmerschiefers u. s. w. an. Sowohl in ihnen als in den Kalkschichten konnten sich nur selten bei ihrer Ablagerung eingeschlossenen organischen Formen erhalten.

Wir sehen diese Formen selbst in wenig veränderten Gesteinen sehr oft durch einfiltrirte Stoffe so innig mit dem Nebengestein verwachsen, dass sie sich gänzlich verwischen; es kann uns daher nicht in Verwunderung setzen, wenn wir sie in völlig metamorphosirten Schichten nur selten erkennbar erhalten finden. Und doch hat man in krystallinischen Kalksteinen mit Granaten vergesellschaftet Korallenreste und im Glimmerschiefer Gneuse und Feldsteinporphir, sowie im Schaalstein gut erkennbare thierische Reste anderer Art aufgefunden; ein deutlicher Beweis, dass diese nun krystallinischen Schichten einst als Sedimente bestanden haben.

Von den Gypsbänken, welche *Bunsen* im *Fumarolenthone Islands* bemerkte, ist oben (S. 69) schon die Rede gewesen; ich bringe das darüber Gesagte in Erinnerung und bemerke nochmals, dass Entstehung aus

Digitized by Google

der Einwirkung des Schwefelwasserstoffs und schwefligsauren Gases auf die Labradorpyroxengesteine erklärt werden muss. Der Schwefelwasserstoff verbrennt, die schweflige Säure nimmt noch Sauerstoff auf, es bildet sich Schwefelsäure, welche mit dem Kalke der Silikate Gyps erzeugen.

Die Flüssigkeit ist aber nicht so concentrirt, dass sich jenes Mineral ausscheiden müsste, sie ist vielmehr diluirt. Da aber durch irgend eine Veranlassung, z. B. schon dadurch, dass sich um die kieselsaure Kalkerde eines Labradorstäubchens unmittelbar eine Gypsrinde anlegt, ein electrischer Hergang eingeleitet werden kann, so sammelt sich der stets neu gebildete Gyps mit der Zeit an diesem, wenn auch anfangs noch so kleinen Atome, es entsteht mitten im Thonschlamme eine neue Gesteinsschicht. Die Ansicht *Bunsens*, dass sich viele untergeordnete Gypslager, namentlich die krystallinischen und fassrigen Gypsschnüre und Lager der petrefactenleeren Schieferthonlager der Trias auf ähnliche Weise entwickelt haben, dürfte keine gewagte genannt werden dürfen.

Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich auf ganz gleiche Weise die Bänke von krystallinischem Quarzfelse in den Schieferthonlagern aus kieselhaltigen in den Gesteinen circulirenden Flüssigkeiten gebildet haben; die Glimmerblättchen in den Sandsteinen, die in Thonschiefer eingehüllte Krystalle von Feldspath, Hornblende,

Digitized by Google

Staurolith u. s. w. mögen ähnlichen Vorgängen ihr Dasein verdanken.

Die Betrachtung des Verlaufes der electrischen Vorgänge in den Drusen und selbst im Innern der Gesteine wird den Gegenstand unsrer nächstfolgenden Unterhaltung bilden.

Auf den Drusen, d. h. auf hohlen, rundum von Gestein eingeschlossenen Räumen, kleinen Höhlungen, begegnen wir sehr vielen krystallisirten Mineralsubstanzen. Zuweilen sind die Mineralien in einer bestimmten Reihenfolge übereinander abgelagert, gerade so, wie auf den Gängen, welche oft, besonders wenn sie nicht mehrere Lagen verschiedener Gesteine durchsetzen und nicht durch Eruptionsgesteine erfüllte Spalten sind, eigentlich nur grosse Drusen darstellen. Auf den Drusen im Kalkstein und Dolomit finden sich in der Regel Kalk- und Bitterspath auskrystallisirt, also die Substanz des Gesteines selbst in krystallinischer Form ausgeschieden. Wenn mit Kohlensäure geschwängertes Wasser den Kalk durchsickert, so löst sich doppeltkohlensaurer Kalk darin auf. Ob durch verschiedene Stoffeinwirkung das Bikarbonat in den Drusenräumen wieder in einfaches Karbonat umgewandelt werden kann, ist eine Frage, welche wir zuerst untersuchen müssen. Es kommt dabei in Betracht, welche Stoffe gleichzeitig mit der bikarbonatischen Kalkerde-Auflösung sich in den Wassern befinden können und ob diese Stoffe

Digitized by Google

wirklich im Stande sind durch chemische Wahlverwandschaft das Kalkbikarbonat in einfaches Karbonat zu zerlegen.

Die Kalksteine enthalten in der Regel als untergeordnete Bestandtheile: kohlensaures Kali und Natron, Chlornatrium, Eisen- und Manganoxyde, Thonerde, Kieselerde, Phosphorsäure. Keiner dieser Stoffe ist im Stande dem doppelt-kohlensauren Kalk ein Atom seiner Säure zu entziehen. Auch wenn Chlorkalzium mit doppelt kohlensaurer Kalkerde in einer Lösung vorkömmt, so wird kein Kalkspath ausgefällt, wie dies die Quellen zu Nauheim beweisen. Nur sobald ein Atom Kohlensäure durch Wärme oder die Einwirkung, der sich mit dem Wasser verbindenden atmosphärischen Luft, oder durch die chemische Kraft der Wasserpflanzen ausgetrieben wird, fällt Kalkspath aus solchen Lösungen. In den Drusen, welche mitten im feuchten Gesteine erfüllt und rings umgeben sind von der Flüssigkeit, welche das Kalkbikarbonat enthält, kann von alle dem keine Rede sein; in offenen Spalten, in Höhlen, in alten Bergwerken, in Kellern muss allerdings die Luft in Anschlag kommen, wenn Tropfstein, Kalksinter und Kalkspath an deren Wänden entstehen.

Becquerel leitete in seinem elektrochemischen Apparat die Krystallisation von einfachem Kalkkarbonat und Dolomit ein. Diese Mineralien wurden erhalten durch die Einwirkung des negativen Poles einer galvanischen

Digitized by Google

Säule auf Kohlensäure und Kalkspath, Chlorkalzium und Chlormagnesium. Die Krystallisation begann an der Platinplatte, welche in die entstehende Lösung von doppelt kohlensaurem Kalk eingetaucht war. Die Einwirkung der elektrischen Kraft richtete sich hier hauptsächlich auf die Zerlegung des Chlorkalziums und des Wassers; das geschiedene Kalzium verband sich mit Sauerstoff und Kohlensäure.

Dumas bemerkte, dass in einem Behälter aus Blei, durch welchen doppelt kohlensauer-kalkhaltiges Wasser floss, vorzugsweise die Stellen, welche durch Zinnloth verbunden waren, sich mit basischem Kalkkarbonat bedeckten, während die Bleiplatten fast rein blieben.

Durch den Unterschied, welcher aus der stärkeren Einwirkung des mit doppelt kohlensaurem Kalke beladenen Wassers auf das Zinnloth und den schwächern auf das Blei in der elektrischen Spannung entsteht, wird das Blei der positive Pol einer galvanischen Kette, es legt sich auf dasselbe Kohlensäure an und verhindert die Abscheidung des Kalkspathes, welcher sich um den negativen Pol (das Zinnloth) sammelt. Wenn das mit Salzen beladene Wasser sich in den Haarröhrchen des Gesteines bewegt, wenn es aus den Haarröhrchen austritt in die Drusenhöhlung, so entsteht alsbald eine elektrische Strömung, welche stark genug sein möchte den basisch kohlensauren Kalk in Krystallform abzuscheiden. Dass in Kalksteinflötzen öfters Kohlensäure

Digitized by Google

ausgeschieden werde, beweisen die aus den Absonderungsklüften desselben ausströmenden, aus diesem Gase bestehenden Stickwetter. Ein Theil dieses Gases mag aus der Zerlegung des doppelt kohlensauren Kalkes entstehen. Kalkspathdrusen in einem Basalt oder einem andern Pyroxenlabradorgestein entstehen aus der Umwandlung des Kalksilikates durch Kohlensäure. Da im Innern solcher Gesteine in Folge zahlreicher anderer Zersetzungen anhaltende elektrische Bewegungen statt finden, so können sich die Atome des Kalkkarbonates nach den Regeln des Gleichgewichtes anordnen.

In allen denjenigen Gesteinen, an deren Zusammensetzung ein Kalksilikat Antheil nimmt, scheidet sich durch den Einfluss der Kohlensäure, welche sie in Verbindung mit atmosphärischen Wassern oder als vulkanische Exhalationen durchdringt, zuerst Kalkkarbonat aus. Alle Höhlungen, selbst die kleinsten, erfüllen sich mit dieser Substanz. Löst dann das gesäuerte Wasser kohlensaures Eisenoxydul auf, so bildet dieses oft Pseudomorphosen nach Kalkspath, indem es diesen, welcher leichter auflöslich ist, allmählich aus den von ihm eingenommen gewesenen Formen verdrängt. Auch andere später eintreffende d. h. später als Kalk in Lösung gekommene Mineralien, Kieselerde, Metalloxydule, selbst Schwefelmetalle nehmen die Stelle des Kalkspathes ein. Die Zeolithe setzen sich meistens auf den Flächen der schon vorhandenen Kalkspathe ab. Die Kalkspathe bekommen alsdann ein zerfressenes Aeussere, so dass

Digitized by Google

es aussieht, als ob einzelne Theile derselben in die neue Verbindung eingetreten wären. Stilbit, Strahlzeolith (Desmin), Epistilbit, Brewsterit, Zeolith, Skolezit, Chabasit, Laumonit, Leonhardit, Faujasit, Kali-Harmotom, Philippsit, Gismontin, Glottalith, Edingtonit, Comptonit, Prechnit u. s. w. sind solche Mineralien, welche in der Regel in Mandelsteinen mit Kalkspath zusammen gefunden werden, oft die Masse des letzteren innigst durchdringend.

Auch die Kieselerde mag auf ähnliche Weise wie der Kalkspath zur Krystallisation gekommen sein. In den Mandeln vieler Gesteine, namentlich des Melaphirs, des Felsites treffen wir Kieselerde an, welche in zahlreichen amorphen Lamellen die Wände der Drusen bedeckend, die Achate bildet. Die Kieselerdelagen bestehen abwechselnd aus der löslichen und unlöslichen Modifikation.

Die Schalen der löslichen Modifikation, gemeiniglich verunreinigt durch etwas Eisen, Manganoxyd, Kali, Natron, Thonerde sind amorph, die der unlöslichen gemeiniglich krystallinisch; zuletzt folgt in der Regel ein krystallinischer Kern oder eine noch nicht ganz erfüllte Druse mit Bergkrystall, Amethyst- oder Quarzkrystallen besetzt, denen sich auch wohl zufällig noch andere Mineralien zugesellen.

An andern Stellen finden wir im Quarzfelse oder Sandsteine die schönsten, mächtigsten Quarzkrystalle

Digitized by Google

gebildet aus Tausenden übereinander gelegter Lamellen, deren jede genau die Form der sechsseitigen Pyramide hat. Dann hat sich plötzlich die Art der Krystallisation geändert, unzählige, mikroskopische, wie Brillianten blitzende Kryställchen von Quarz bedecken alle Flächen der oft halbfusslangen unteren Krystalle, bilden lange Stalaktitenformen auf denselben. Diese Erscheinungen erklären sich auf folgende Weise. Bei der Bildung in den Drusen der Mandelsteine wechselt entweder die Zusammensetzung der Flüssigkeit, aus welcher die Abscheidung der Kieselerde erfolgte, oder die elektrische Spannung war zu verschiedenen Perioden stärker und dann wieder schwächer (v. S. 206). Bei der Entstehung der grossen Krystalle sind aber in sehr langen Zeiträumen die elektrischen Verhältnisse ziemlich gleiche geblieben und haben sich erst geändert, als die Ueberdrusung mit den kleinen Quarzkryställchen ihren Anfang nahm. Die elektrische Kraft war vielleicht gerade durch die Anordnung der verschiedenen reinern und unreinern Quarzlamellen gesteigert worden und desshalb erfolgte eine raschere Ausscheidung der mit Wasser zugeführten Kieselerde in vielen kleinen Kryställchen.

Wenn sich auf Kluftflächen Kieselerde abscheidet, so bildet sie anfangs auch stets Krystalle, welche oft kaum Haardicke haben; sind diese Krystalle auf beiden Seiten der Kluft so gross geworden, dass sie mit ihren Spitzen aneinander stossen, so wird daraus stänglicher Quarz, welcher, wenn durch stets neue Zuführung auch

Digitized by Google

schliesslich noch alle kleine Zwischenräume erfüllt werden, sich in dichten Quarz umändert. Die Entstehung des körnigen Quarzes geht auf ähnliche Weise aus Krystallen hervor, bei welchen die Flächen der sechsseitigen Säule weniger entwickelt sind.

Wenn mehrere Mineralien auf einer Druse vorkommen, so sind sie entweder neben- oder übereinander ausgebildet. Wo sie nebeneinander stehen erscheinen sie als Ausscheidungen aus einer Flüssigkeit, welche mehrere Elemente enthielt, die gleichzeitig durch die elektrischen Kräfte als Krystallisation angeordnet wurden. Die Formen stecken dann zuweilen ganz oder theilweise ineinander. Beispiele solcher Bildungen sind Graubraunstein mit und in Schwerspath; Speiskobalt mit Kupfernikel und Schwefelkies mit und in Schwerspath u. s. w.

Wenn die Substanzen in Lamellen abwechseln, so wird in der Regel die eine früher als die andere zugeführt und niedergeschlagen worden sein. Es kann sich auf diese Weise ein Ueberzug einer Substanz über der andern bilden, dann die ältere unterliegende ganz fortgeführt werden und darauf durch Einflössung oder elektrischen Niederschlag die leere Form wieder erfüllt werden mit einer Mineralspecies, welcher jener Form ihrem Wesen nach fremd ist. Es entstehen hierdurch die Afterkrystalle. Geht der Austausch des Stoffes allmählich vor sich, so bilden sich Pseudomorphosen mit Beibehaltung der innern Struktur (z. B. Quarz mit Formen und Struktur des Kalkspathes).

Digitized by Google

Zuweilen finden wir aber auch rundum eingehüllt von einem andern Minerale rundum ausgebildete Krystalle, z. B. im Gypse Borazit, Quarz; im Kalkspathe Bleiglanz, Kobaltglanz, Almandin und Glimmer u. s. w.

In diesen Fällen ist der Einschluss zuweilen späterer Entstehung als das Umhüllende; er ist entstanden wie der Gyps, der Schwefelkies in den Fumarolenthonen und hat sich ausbreitend die umgebenden Theile stark zusammengepresst, so dass sie in gebogenen Lamellen die Krystalle umschliessen.

Jede Druse hat in dieser Beziehung ihre eigene Entstehungs-Geschichte; wir würden Stoff zu bände reichen Schriften finden, wenn wir nur unsere nächste Umgebung durchgehen wollten. Desshalb begnügen wir uns mit dem Wenigen bisher Gegebenen und beschliessen diese Betrachtungen mit dem Wunsche, dass sie hingenommen werden mögen als ein Beitrag zur Erforschung des Zusammenhanges der Dinge.

Druck der L. C. Wittich'schen Hofbuchdruckerei.

Digitized by Google

Fig 1.

Seite 29

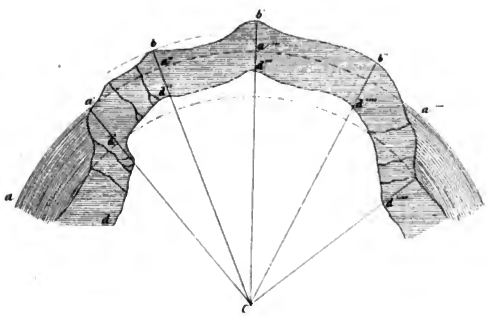
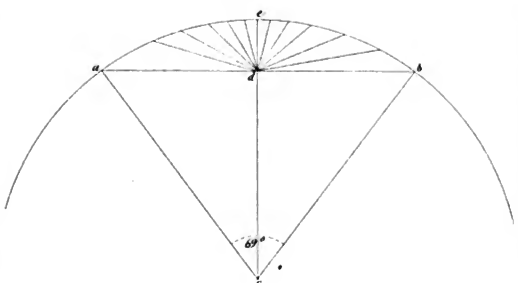


Fig. 2.

Seite 31.



Ladung Wachsen der Stadt. Druck gedr. in Bauerhofer Bogenstadt Tonkunst Wenzlerin Lith.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 3.
Seite 46.

Fig. 4
Seite 46.

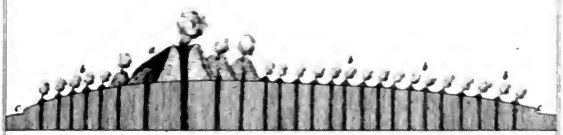
1 Santorin, 2 Aspronisi, 3 Therasia, 4 u 8 Palaeokaimeni, 5 u 6 Neokaimeni, 7 Microkaimeni.

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 5.

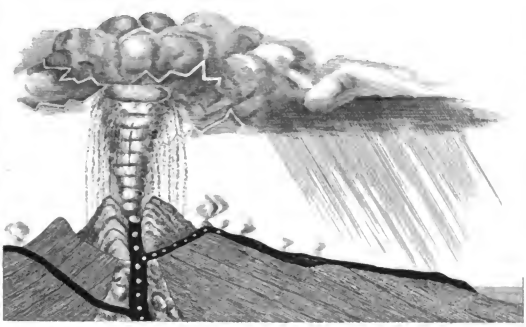
Seite 72



a Lava des Jorullo; b b b Hornitos; c c die dem Ausbruche des Vulcanes vorausgegangene Auftreibung des Bodens

Fig. 6.

Seite 61



Ludwig Wachsen der Steine

Digitized by Google

Digitized by Google

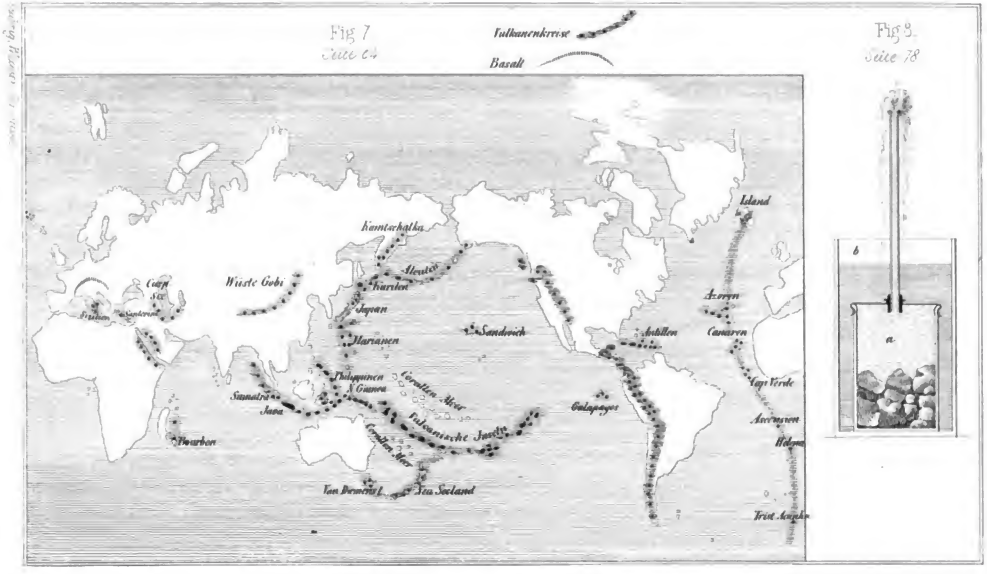
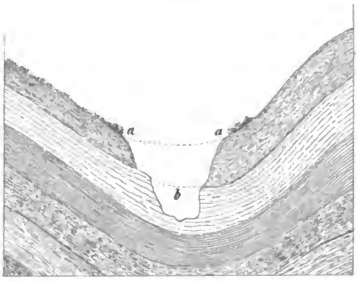


Fig 7
Seite 64
Vulkanenkreise
Basalt
Kamtschatka
Aleuten
Wüste Gobi
Japan
Marianen
Sandwich
Island
Azoren
Canaren
Antillen
Cap Verde
Ascension
Helena
Galapagos
Philippinen
Neu Guinea
Sumatra
Java
Neuholland
Van Diemens L.
Neu Seeland
Tristan d'Acunha
Fig 8.
Seite 78
b
a.

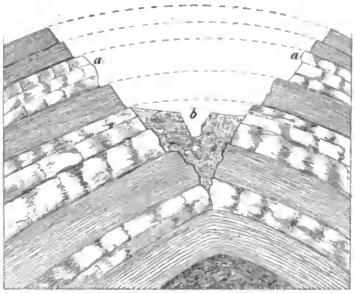
Digitized by Google

Fig 9.
Seite 99.



a a. Faltenthal. b. Erosionsthal.

Fig 10.
Seite 99



a a. Spaltungsthal. b. Erosionsthal.

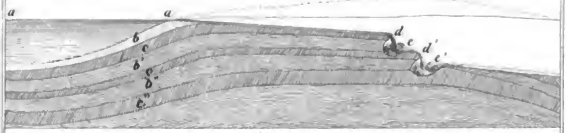
Ludwig. Wachsen der Steine

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 11

Seite 100.



a a. See, b b' b'' weiche Sand- oder Thonschichten, c c' c'' feste Kalk- oder Sandsteinlagen, d d. Kataracte, welche durch Unterwühlung das Rückwärtsaustiefen des Flussbettes e e' veranlassen.

Fig. 12.

Seite 105

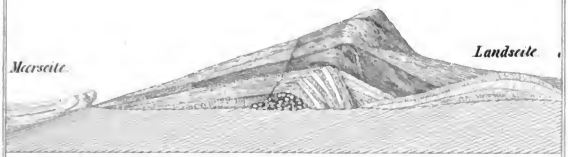


Fig. 13.

Seite 148.

Ludwig, Wachsen der Steine

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 14.
Seite 169

Fig. 15
Seite 169

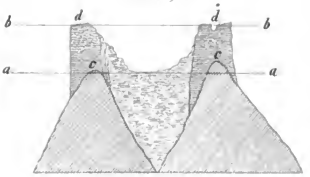


Fig. 16
Seite 169

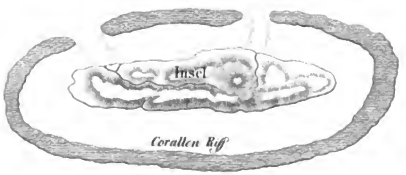
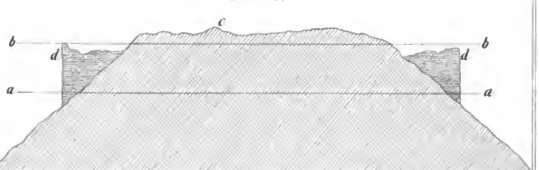


Fig. 17
Seite 169



Anfängliche Höhe der Inseln über dem Meeresspiegel ac, ac. Durch Senkung der Gesteine ist in Fig. 15 der Kraterrand c ganz unter den Meeresspiegel herabgekommen; in Fig. 17 ist die Meereshöhe der Insel um das Stück a b geringer geworden. b. b Jetzige Lage des Meeresspiegels gegen die Inseln; d. d Bauwerke der Korallen.

Ludwig, Wachsen der Steine

Digitized by Google

Digitized by Google

Fig. 18

Seite 206

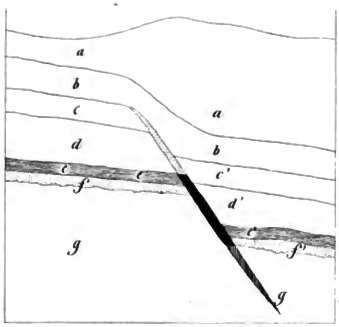


Fig. 19.

Seite 212

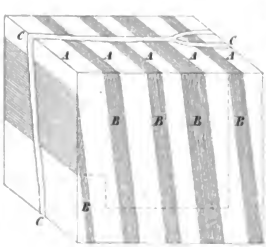
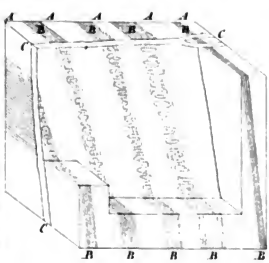


Fig. 20.

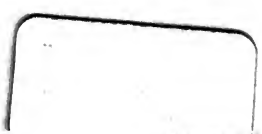
Seite 213.



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google